



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – MN 141581

**PERKIRAAN FATIGUE LIFE PADA KONTRUKSI PINTU GRAVING DOCK :
STUDI KASUS PADA GALANGAN PT. DAK BANGKA BELITUNG**

MUHAMMAD AULIA

NRP. 4111100091

Dosen Pembimbing

Ir. Budie Santosa, M.T.

Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Fakultas Teknik Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015



FINAL PROJECT – MN 141581

**FATIGUE LIFETIME ASSESSMENT ON CONSTRUCTION OF DOCK GATE :
CASE STUDY AT SHIPYARD OF PT. DAK BANGKA BELITUNG**

MUHAMMAD AULIA

NRP. 4111100091

Dosen Pembimbing

Ir. Budie Santosa, M.T.

Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING
ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2015

LEMBAR PENGESAHAN

PERKIRAAN FATIGUE LIFE PADA KONSTRUKSI PINTU GRAVING DOCK : STUDI KASUS PADA GALANGAN PT. DAK BANGKA BELITUNG

TUGAS AKHIR

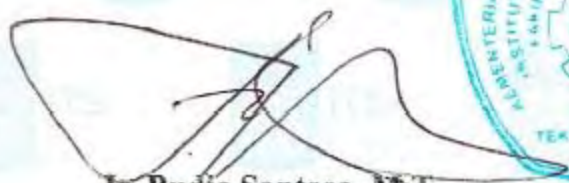
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan - Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

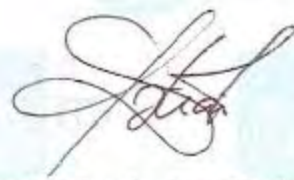
Oleh:

MUHAMMAD AULIA
NRP. 4111 100 091

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Ir. Budie Santosa, M.T.
NIP. 19500402 197803 1 002



Septia Hardy S, S.T., M.T.
NIP. 19840921 201212 2 001

LEMBAR REVISI
PERKIRAAN FATIGUE LIFE PADA KONTRUKSI PINTU GRAVING
DOCK : STUDI KASUS PADA GALANGAN PT. DAK BANGKA

BELITUNG

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir

Tanggal 2 Juli 2015

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal

Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD AULIA


NRP. 4111100091

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

1. Totok Yulianto, S.T., M.T.
2. Ir. Asjhar Imron, M. Sc., MSE., PED.
3. Dr. I Ketut Suastika, M. Sc.


(.....)




(.....)


(.....)

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Budie Santosa, M. T.
2. Septia Hardy S, S.T., M.T.


(.....)


(.....)

SURABAYA, JULI 2015

PERKIRAAN FATIGUE LIFE PADA KONTRUKSI PINTU GRAVING DOCK : STUDI KASUS PADA GALANGAN PT. DAK BANGKA BELITUNG

Nama : **Muhammmad Aulia**
NRP : **4111100091**
Jurusan : **Teknik Perkapalan**
Dosen Pembimbing : **Ir. Budie Santosa, M.T.**

Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

ABSTRAK

Selama masa operasinya, pintu dok mengalami beban siklis yang disebabkan oleh perubahan pasang surut air laut dan muatan *ballast*. Perubahan beban ini beserta efek korosi yang diakibatkan lingkungan laut berpotensi mengakibatkan kelelahan yang berakhir dengan kegagalan struktur. Untuk terhindar dari kegagalan struktur yang disebabkan oleh beban siklis tersebut, maka dilakukan perkiraan umur kelelahan dari pintu dok. Perkiraan umur kelelahan diperlukan untuk mengetahui potensi kegagalan struktur yang terjadi selama masa pengoperasian pintu dok. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka dilakukan analisa kelelahan untuk memperkirakan umur kelelahan dengan pintu dok pada *graving dock* milik PT. Dok Air Kantung Bangka Belitung sebagai objek penelitian. Analisa kelelahan dilakukan berdasarkan regulasi Biro Klasifikasi Indonesia sebagai acuan utama.

Berdasarkan regulasi BKI, maka analisa kelelahan dilakukan menggunakan *Palmgren-Miner Cumulative Damage Rule*. Dari metode ini, perkiraan kelelahan dilakukan melalui beberapa simulasi pembebanan yang diberikan selama masa pengoperasian pintu dok. Untuk tiap simulasi, jumlah siklus kejadian dihitung berdasarkan metode *simplified rainflow counting method*. Kemudian jumlah siklus tersebut dibandingkan terhadap jumlah siklus ketahanan yang diperoleh berdasarkan S-N diagram melalui perhitungan renggang tegangan pada lokasi yang dianalisa. Hasil rentang tegangan diperoleh berdasarkan pemodelan pintu dok pada *software* elemen hingga. Dari hasil analisa yang diperoleh, maka umur kelelahan terkecil pada tiap simulasi pembebanan yang diberikan berada pada rentang 947 hingga 324 tahun untuk umur desain 20 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa beban siklis tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap umur kelelahan dari pintu dok. Di sisi lain faktor korosi memberikan efek yang signifikan terhadap kekuatan pintu dok yang dibuktikan dengan pengecekan kekuatan untuk kondisi tebal pelat dibawah 97.5 % pintu dok telah melewati batas tegangan *minimum nominal upper yield*(R_{EH}) - nya.

Kata Kunci : Pintu Dok, Umur kelelahan, Korosi, Pasang Surut, Simulasi Pembebanan, Beban Hidrostatik

**FATIGUE LIFETIME ASSESSMENT ON CONSTRUCTION OF DOCK GATE :
CASE STUDY AT SHIPYARD OF PT. DAK BANGKA BELITUNG**

Name : **Muhammmad Aulia**
NRP : **4111100091**
Department : **Naval Architecture and Shipbuilding**
Supervisor : **Ir. Budie Santosa, M.T.**
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

ABSTRACT

During the lifetime, dock gate had experienced cyclic loads due to alteration between tide and ballast tank. A changing load along with corrosion effect by sea environment may results on fatigue which end up with fatigue failure. To avoid the fatigue failure that caused by cyclic loads, fatigue life assesmenet of dock gate is required. Fatigue life estimation is needed to obtain the potential failure during operation time. Based on this consideration, fatigue analysis is doing to obtain lifetime of dock gate which a dock gate of graving dock from PT. Dok Air Kantung Bangka Belitung as the object of research. Fatigue analysis is based on BKI regulations as the main guideline.

According to BKI regulations, fatigue analysis is solved by Palmgren-Miner Cumulative Damage Rule. From this method, fatigue assessment is determined through several simulations which is given during lifetime. For each simulation, amount of cycles is calculated by simplified rainflow counting method. The amount of cycles is compared to endured cycles which obtained from S-N diagram through stress range calculations from the considered locations. A stress result is obtained by dock gate's model which built on finite element software. From results, fatigue lifetime for each simulation are stand among 947 and 324 years old for 20 years old design life that given. According to the results, cyclic loads doesn't give a significant effect to dock gate's fatigue lifetime. Instead, corrosion effect gives significant impact to dock gate's strength which is proved by strength checked below 97.5 % plate thickness shows that the dock gate has exceeds the minimum upper yield (R_{EH}) limit.

Keywords : *Dock Gate, Fatigue Lifetime, Corrosion, Tide, Loading Simulation, Hidrostatic Pressure*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr, Wb.

Alhamdulillah, puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta anugerah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Dan tak lupa shalawat serta salam tetap tercurahkan untuk nabi Muhammad SAW yang senantiasa memberi petunjuk arah jalan kebenaran dan kebaikan.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik oleh penulis tentunya tidak lepas dari dukungan banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. Ayah Gafarudin Yunus dan Ibu Huzaimah yang telah memberikan dukungan baik secara moril dan materil.
2. Bapak Ir. Budie Santosa, M.T., selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Ibu Septia Hardy Sujianti, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Prof.Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D., CEng, FRINA, selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS
5. Bapak Muhammad Nurul Misbach, S.T.,M.T., selaku Dosen Wali penulis, atas bimbingannya selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS.
6. Kepala Laboratorium Komputasi Bapak Solikhan Arief, S.T., M.T., atas ijinnya menggunakan fasilitas laboratorium untuk mengerjakan tugas akhir.
7. Bapak Teguh Putranto, S. T., M.T dan Argo Yogiarto, S.T.yang telah bersedia membimbing serta memberikan arahan kepada penulis sehingga tugas ini dapat diselesaikan dengan baik
8. Bapak Sudiono dan Bapak Wandu selaku karyawan tata usaha Jurusan Teknik Perkapalan yang telah membantu dalam administrasi tugas akhir ini.
9. Semua Dosen dan Staf Karyawan Tata Usaha Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS.
10. Teman-teman seperjuangan selama kuliah Bintang, Lukky, Fyan, Ghafiq, Nando, Didi, dan Nabil.
11. Teman-teman satu angkatan P-51 dan segenap keluarga besar Warga HIMATEKPAL.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Maka saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamualaikum, Wr, Wb.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi pasang surut di permukaan laut.....	7
Gambar 2. 2 Periode pasang surut harian ganda.....	7
Gambar 2. 3 Periode pasang surut harian tunggal	8
Gambar 2. 4 Periode pasang surut campuran.....	8
Gambar 2. 5 Ilustrasi penyederhanaan masalah pada benda <i>mirror symmetry</i>	12
Gambar 2. 6 <i>Shell element</i>	14
Gambar 2. 7 <i>Beam element</i>	15
Gambar 2. 8 Hubungan antara jumlah elemen dan parameter fungsinya	15
Gambar 2. 9 Beban amplitudo konstan.....	16
Gambar 2. 10 Parameter dasar untuk beban kelelahan	17
Gambar 2. 11 S-N diagram untuk sambungan las baja.....	20
Gambar 3. 1 Diagram Alir	24
Gambar 3. 2 <i>Construction profile</i> pintu dok PT. Dok dan Perkapalan Air Kantung.....	25
Gambar 3. 3 Simulasi pembebanan kondisi percobaan untuk simulasi S3 dan S4.....	30
Gambar 3. 4 Simulasi pembebanan kondisi percobaan untuk simulasi S3 dan S4.....	31
Gambar 3. 6 Kondisi batas pada permodelan pintu dok	34
Gambar 3. 6 Proses pembuatan model hingga <i>meshing</i>	35
Gambar 3. 7 Pemberian <i>surface load</i> untuk variasi T1H1(a), T1H2(b), dan T1H3(c).....	36
Gambar 3. 8 Contoh hasil analisa tegangan pada kondisi T1H1 kondisi pelat 100 %	36
Gambar 3. 9 Kurva perbandingan jumlah elemen dan tegangan pada wrang pelat 17.....	37
Gambar 3. 10 Kurva perbandingan ukuran elemen dan tegangan pada wrang pelat 17.....	37
Gambar 3. 11 Proses perhitungan siklus dengan metode <i>simplified rainflow counting</i>	38
Gambar 4. 1 Hasil tegangan pada gading 20, 17 dan 14 untuk kondisi 92.5%	43
Gambar 4. 2 Lokasi tinjauan fatigue M1 pada gading 14.....	45
Gambar 4. 3 <i>Detail Category</i> untuk lokasi M1.....	45
Gambar 4. 4 Lokasi tinjauan <i>fatigue</i> M2 pada wrang pelat 14.....	46
Gambar 4. 5 Lokasi tinjauan <i>fatigue</i> M3 pada senta 3.6 meter	47
Gambar 4. 6 Lokasi tinjauan <i>fatigue</i> M4 pada gading 20.....	48
Gambar 4. 7 <i>Detail Category</i> untuk lokasi M2, M3, dan M4.....	48

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Hipotesis	2
1.7 Sistematika Laporan.....	2
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Pintu Dok	5
2.3 Korosi.....	6
2.4 Fenomena Pasang Surut Air Laut	6
2.4.1 Definisi	6
2.4.2 Tipe Pasang Surut.....	7
2.5 Beban Kerja Pada Pintu Dok	9
2.5.1 Jenis Beban Siklis.....	9
2.5.2 Beban Hidrostatik	9
2.5.3 Berat Pintu Dok	10
2.6 Kondisi Batas	11
2.6.1 Tipe Tumpuan.....	11
2.6.2 Kondisi Batas Pada Struktur Simetri	12
2.7 Pemodelan Elemen Hingga.....	13
2.7.1 Pemilihan Jenis Model Berdasarkan tegangan yang digunakan.....	13
2.7.2 Pemilihan Tipe Elemen	14
2.7.3 Konvergensi.....	15
2.8 Perhitungan Siklus Pada Analisa Kelelahan	16

2.8.1	Beban Amplitudo Konstan.....	16
2.8.2	Beban Amplitudo Bervariasi.....	16
2.8.3	Teknik Perhitungan Siklus.....	16
2.9	Kelelahan.....	18
2.9.1	Pendahuluan.....	18
2.9.2	Kekuatan Kelelahan.....	18
2.9.3	Desain S-N Diagram.....	19
2.9.4	Jenis Tegangan.....	20
2.9.5	Lokasi Tinjauan Kelelahan.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Pendahuluan	23
3.2	Studi Literatur	24
3.3	Pengumpulan Data Pintu Dok.....	24
3.4	Tebal Pelat Akibat Korosi.....	25
3.5	Penentuan Pasang Surut Air Laut.....	26
3.5.1	Lokasi Tinjauan Penelitian	26
3.5.2	Penentuan Variasi Pasang Surut	26
3.6	Perhitungan Berat Pintu Dok.....	27
3.6.1	Perhitungan Berat Kontruksi.....	27
3.6.2	Perhitungan Muatan Tangki <i>Ballast</i> Minimum	27
3.7	Penentuan Simulasi Pasang Surut	28
3.7.1	Variasi Kondisi Pembebanan.....	28
3.7.2	Simulasi Kondisi Pembebanan	28
3.8	Perhitungan Beban Kerja	32
3.9	Kondisi Batas	33
3.9.1	Kondisi Batas Pintu Dok dan Dok.....	33
3.9.2	Kondisi Batas Untuk Struktur Simetri	33
3.10	Pemodelan Pintu Dok.....	34
3.10.1	<i>Preprocessing</i>	34
3.10.2	<i>Solving</i>	36
3.10.3	<i>Post Processing</i>	36
3.10.4	Konvergensi	37
3.11	Perhitungan Jumlah Siklus	38

3.12	Perhitungan Kapasitas Kelelahan	39
3.12.1	Perhitungan Masa Operasi Pintu Dok	39
3.12.2	Pemilihan Jenis Tegangan	39
3.12.3	Pemilihan Lokasi dan Desain S-N Diagram Untuk Analisa Kelelahan	40
3.12.4	Perhitungan <i>Cumulative Damage Ratio</i>	40
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Pengecekan Kekuatan Pintu Dok	41
4.2	Penentuan Lokasi Kelelahan	44
4.2.1	Lokasi Analisa Kelelahan Pada Gading Besar (M1)	44
4.2.2	Lokasi Analisa Kelelahan Pada Wrang Pelat (M2)	46
4.2.3	Lokasi Analisa Kelelahan Pada Senta Sisi (M3)	46
4.2.4	Lokasi Analisa Kelelahan Pada Gading Besar <i>Rounded</i> (M4)	47
4.3.	Rekapitulasi Nilai Hasil Tegangan	48
4.4	Simulasi Pembebanan Pada Kondisi Normal	50
4.4.1	Simulasi Pembebanan Kondisi Normal Untuk Tebal pelat 100 %	50
4.4.2	Simulasi Pembebanan Kondisi Normal Untuk Tebal pelat 97.5 %	51
4.5	Simulasi Pembebanan Pada Kondisi Percobaan	52
4.5.1	Simulasi Pembebanan Kondisi Percobaan Untuk Tebal Pelat 100 %	52
4.5.2	Simulasi Pembebanan Kondisi Percobaan Untuk Tebal Pelat 97.5 %	53
4.6	Rekapitulasi Pehitungan <i>Cumulative Damage</i>	54
4.6.1	Kondisi Normal	54
4.6.2	Kondisi Percobaan (S3 Untuk Pelat 100 %)	56
4.6.3	Kondisi Percobaan (S4 Untuk Pelat 100 %)	57
4.6.4	Kondisi Percobaan (S3 Untuk Pelat 97.5 %)	58
4.6.5	Kondisi Percobaan (S4 Untuk Pelat 97.5 %)	59
4.7	Rekapitulasi Umur Kelelahan	60
4.7.1	Kondisi Normal	60
4.7.2	Kondisi Percobaan	61
BAB V PENUTUP		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN GAMBAR DAN PERHITUNGAN		67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perhitungan berat konstruksi pintu dok	11
Tabel 2. 2 Jenis-jenis tumpuan dan definisinya	12
Tabel 2. 3 Kondisi batasan untuk benda simetri tiga dimensi	13
Tabel 3. 1 Ukuran utama pintu dok	24
Tabel 3. 2 Variasi ukuran tebal pelat pintu dok	26
Tabel 3. 3 Variasi perubahan pasang surut terhadap waktu	27
Tabel 3. 4 Hasil perhitungan berat dan muatan tangki <i>ballast</i>	27
Tabel 3. 5 Variasi keadaan pasang surut terhadap ketinggian muatan <i>ballast</i>	28
Tabel 3. 6 Notasi kondisi pembebanan	28
Tabel 3. 7 Simulasi pembebanan kondisi normal untuk simulasi S1 dan S2	29
Tabel 3. 8 Simulasi pembebanan kondisi percobaan untuk simulasi S3 dan S4	30
Tabel 3. 9 Perhitungan beban hidrostatik pada berbagai kondisi pasang surut ($h=T$)	32
Tabel 3. 10 Perhitungan beban hidrostatik pada berbagai kondisi muatan tanki ($h=H$)	32
Tabel 3. 11 Kondisi batasan pada tumpuan pintu dok	33
Tabel 3. 12 Kondisi batasan pada penampang simetri pintu dok	33
Tabel 3. 13 Hasil konvergensi ukuran dan jumlah <i>meshing</i> terhadap nilai tegangan	37
Tabel 4. 1 Pengecekan kekuatan pada $T = 5.2$ m tebal 100 %	41
Tabel 4. 2 Pengecekan kekuatan pada $T = 4.7$ m tebal 100 %	41
Tabel 4. 3 Pengecekan kekuatan pada $T = 4.2$ m tebal 100 %	41
Tabel 4. 4 Pengecekan kekuatan pada $T = 3.6$ m tebal 100 %	42
Tabel 4. 5 Pengecekan kekuatan pada $T = 5.2$ m tebal 97.5 %	42
Tabel 4. 6 Pengecekan kekuatan pada $T = 5.2$ m tebal 95 %	42
Tabel 4. 7 Pengecekan kekuatan pada $T = 5.2$ m tebal 92.5 %	43
Tabel 4. 8 Pengecekan kekuatan pada $T = 5.2$ m tebal 90 %	43
Tabel 4. 9 Pengecekan renggang tegangan terbesar untuk lokasi M1	44
Tabel 4. 10 Pengecekan renggang tegangan terbesar untuk lokasi M2	46
Tabel 4. 11 Pengecekan renggang tegangan terbesar untuk lokasi M3	47
Tabel 4. 12 Pengecekan renggang tegangan terbesar untuk lokasi M4	47
Tabel 4. 13 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 100 % untuk $T = 5.2$ meter	49
Tabel 4. 14 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 100 % untuk $T = 4.7$ meter	49
Tabel 4. 15 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 100 % untuk $T = 4.2$ meter	49

Tabel 4. 16 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 100 % untuk T = 3.6 meter	49
Tabel 4. 17 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 97.5 % untuk T = 5.2 meter	49
Tabel 4. 18 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 97.5 % untuk T = 4.7 meter	50
Tabel 4. 19 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 97.5 % untuk T = 4.2 meter	50
Tabel 4. 20 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 97.5 % untuk T = 3.6 meter	50
Tabel 4. 21 Simulasi kondisi normal S1 (tebal pelat 100 %).....	50
Tabel 4. 22 Simulasi kondisi normal S2 (tebal pelat 100 %).....	51
Tabel 4. 23 Simulasi kondisi normal S1 (tebal pelat 97.5 %).....	51
Tabel 4. 24 Simulasi kondisi normal S2 (tebal pelat 97.5 %).....	52
Tabel 4. 25 Simulasi kondisi percobaan S3 (tebal pelat 100 %)	52
Tabel 4. 26 Simulasi kondisi percobaan S4 (tebal pelat 100 %)	53
Tabel 4. 27 Simulasi kondisi percobaan S3 (tebal pelat 97.5 %)	53
Tabel 4. 28 Simulasi kondisi percobaan S4 (tebal pelat 97.5 %)	54
Tabel 4. 29 Rekapitulasi perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S1 tebal pelat 100 %.....	55
Tabel 4. 30 Rekapitulasi perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S2 tebal pelat 100 %.....	55
Tabel 4. 31 Rekapitulasi perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S1 tebal pelat 97.5 %.....	55
Tabel 4. 32 Rekapitulasi perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S2 tebal pelat 97.5 %.....	55
Tabel 4. 33 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S3 tebal pelat 100 % lokasi M1.....	56
Tabel 4. 34 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S3 tebal pelat 100 % lokasi M2.....	56
Tabel 4. 35 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S3 tebal pelat 100 % lokasi M3.....	56
Tabel 4. 36 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S3 tebal pelat 100 % lokasi M4.....	56
Tabel 4. 37 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S4 tebal pelat 100 % lokasi M1.....	57
Tabel 4. 38 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S4 tebal pelat 100 % lokasi M2.....	57
Tabel 4. 39 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S4 tebal pelat 100 % lokasi M3.....	57
Tabel 4. 40 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S4 tebal pelat 100 % lokasi M4.....	57
Tabel 4. 41 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S3 tebal pelat 97.5 % lokasi M1.....	58
Tabel 4. 42 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S3 tebal pelat 97.5 % lokasi M2.....	58
Tabel 4. 43 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S3 tebal pelat 97.5 % lokasi M3.....	58
Tabel 4. 44 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S3 tebal pelat 97.5 % lokasi M4.....	58
Tabel 4. 45 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S4 tebal pelat 97.5 % lokasi M1.....	59
Tabel 4. 46 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S4 tebal pelat 97.5 % lokasi M2.....	59
Tabel 4. 47 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S4 tebal pelat 97.5 % lokasi M3.....	59
Tabel 4. 48 Perhitungan <i>cumulative damage</i> untuk S4 tebal pelat 97.5 % lokasi M4.....	59

Tabel 4. 49 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S1 tebal pelat 100 %	60
Tabel 4. 50 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S2 tebal pelat 100 %	60
Tabel 4. 51 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S1 tebal pelat 97.5 %	60
Tabel 4. 52 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S2 tebal pelat 97.5 %	60
Tabel 4. 53 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S3 tebal pelat 100%	61
Tabel 4. 54 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S4 tebal pelat 100%	61
Tabel 4. 55 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S3 tebal pelat 97.5 %	61
Tabel 4. 56 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S4 tebal pelat 97.5 %	61

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Agar dapat bertahan selama masa operasinya, suatu struktur didesain untuk mampu bertahan dari berbagai beban kerja yang dialaminya. Secara prinsip, selama beban kerja yang dialami tidak melewati batas izin yang ditentukan maka kegagalan struktur tidak akan terjadi. Namun apabila beban tersebut diberikan berulang-ulang secara menerus, walaupun beban yang diberikan berada di bawah batas desainnya, maka perhatian khusus perlu diberikan. Beban ini dinamakan beban siklis dan pada struktur bangunan laut beban siklis merupakan salah satu jenis beban yang dialami struktur selama masa operasinya. Struktur yang mengalami beban siklis cenderung mengalami kelelahan yang berujung pada kegagalan struktur. Apabila beban ini terjadi, maka struktur tersebut tidak dapat dikatakan aman dikarenakan potensi kelelahan pada struktur tersebut diabaikan. Kelelahan yang berujung pada kegagalan struktur akan berbahaya apabila terjadi selama masa operasi struktur sehingga hal ini perlu dihindari sebisa mungkin.

Sebagai kontruksi yang dibangun sebagai pembatas antara perairan dan *graving dock*, pintu dok berfungsi memberikan kekedapan selama masa pengerjaan dilakukan di dalam dok dengan waktu buka tutup yang sesingkat mungkin. Dikarenakan fungsinya tersebut maka pintu dok akan mengalami beban akibat air laut dan muatan *ballast*-nya. Beban ini terus berubah secara berulang memunculkan potensi terjadinya kelelahan. Diperparah oleh efek korosi akibat pengaruh lingkungan laut maka pintu dok dapat berujung pada kegagalan di dalam masa pengoperasiannya. Oleh karena itu penting untuk mengidentifikasi jenis beban siklis yang dialami oleh pintu dok sehingga potensi kegagalan selama masa pengoperasian pintu dok dapat dihindari.

Untuk terhindar dari kegagalan akibat kelelahan selama masa pengoperasian suatu struktur maka perlu dilakukan analisa kelelahan. Analisa kelelahan dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan sehingga dapat diperkirakan kapasitas kelelahan dari suatu struktur. Pada struktur seperti kapal dan pintu dok yang dibangun menggunakan pelat baja, lokasi rawan awal terjadinya kelelahan berada pada struktur sambungan las. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk analisa kelelahan pada kontruksi baja dan sambungan las dalam memperkirakan kapasitas kelelahannya adalah pendekatan renggang tegangan. Nilai tegangan ini diperoleh berdasarkan analisa tegangan yang dilakukan menggunakan metode analitikal atau metode elemen hingga (numerik). Prosedur dalam melakukan analisa kelelahan ini telah banyak diatur oleh regulasi yang diterbitkan oleh berbagai regulator.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka analisa kelelahan dilakukan dengan tujuan mengetahui kapasitas kelelahan dari kontruksi pintu dok. Dari kapasitas kelelahan maka dapat dihitung umur kelelahan sehingga potensi kegagalan yang terjadi selama pengoperasian pintu dok dapat dihindari. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa kelelahan untuk mengetahui umur kelelahan pintu dok dimana sebagai contoh diambil objek penelitian pada pintu dok milik galangan PT. Dok Air Kantung (PT.

DAK) Bangka Belitung. Analisa kelelahan dilakukan berdasarkan regulasi *BKI Rules for the Classifications & Construction of Seagoing Steel Ships* yang dijadikan acuan dalam proses desain dan pembangunan dari pintu dok ini. Analisa dilakukan berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan pada *software* elemen hingga. Diharapkan dari analisa ini diperoleh informasi yang dapat dijadikan pedoman dalam perencanaan pemeriksaan berkala dari pintu dok.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara melakukan analisa kelelahan melalui aplikasi *software* elemen hingga berdasarkan regulasi BKI?
2. Bagaimana cara menghitung umur kelelahan dari pintu dok berdasarkan regulasi BKI ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Analisa kelelahan dilakukan pada area sambungan las berdasarkan regulasi BKI.
2. Permodelan dilakukan dengan bantuan *software finite element*.
3. Perkiraan umur kelelahan dilakukan dengan aturan *Palmgren-Miner linear cumulative damage rule*.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Memperoleh model yang dapat digunakan pada analisa kelelahan berdasarkan regulasi BKI.
2. Memperoleh perkiraan umur kelelahan dari lokasi struktur pintu dok yang dianalisa.

1.5 Manfaat

1. Memahami penerapan regulasi BKI dan *software* elemen hingga yang sesuai untuk analisa kelelahan dari pintu dok pada tugas akhir ini.
2. Dari hasil umur kelelahan maka diperoleh informasi yang diperlukan terkait pemeliharaan dan pemeriksaan berkala pada pintu dok.

1.6 Hipotesis

Kekuatan kelelahan dari pintu dok memenuhi persyaratan yang diberikan oleh Biro Klasifikasi Indonesia.

1.7 Sistematika Laporan

Untuk memperoleh hasil laporan tugas akhir yang sistematis dan tidak keluar dari pokok permasalahan yang telah ditentukan, maka dibuat sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian secara umum dan singkat meliputi latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat, tujuan, hipotesa dan sistematika penulisan dari Tugas Akhir yang disusun.

BAB II DASAR TEORI

Berisi tinjauan pustaka, yakni apa saja yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Dasar teori, persamaan-persamaan, *rules* dan *codes* yang digunakan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini diuraikan dalam bab ini.

BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian ini menjelaskan bagaimana langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian tugas akhir ini, serta metode-metode yang digunakan. Dimulai dengan pengumpulan data pintu dok, perhitungan variasi beban kerja, penentuan simulasi pasang surut air laut, hingga input kondisi batas, beban, dan hasil konvergensi pada pemodelan elemen hingga sehingga diperoleh hasil renggang tegangan dan perhitungan umur kelelahan.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada tahap awal, dilakukan pengecekan kekuatan pada tiap variasi tebal korosi. Kemudian berdasarkan rekapitulasi tegangan untuk setiap simulasi pembebanan diperoleh nilai *cumulative damage* untuk tiap lokasi kelelahan yang diperiksa. Setelah diperoleh *cumulative damage ratio* maka dapat diperoleh umur kelelahan dari tiap lokasi yang diperhatikan.

BAB V PENUTUP

Penutup terdiri dari dua bagian besar berupa kesimpulan dan saran yang didapatkan setelah analisa kelelahan pada pintu dok dilakukan. Kesimpulan menjelaskan hasil yang diperoleh dari analisa umur kelelahan pada tiap variasi ketebalan pelat korosi sebagai jawaban atas permasalahan yang diajukan atau dirumuskan. Selain itu saran juga diperlukan dalam bab ini, dengan tujuan sebagai masukan-masukan pada penelitian-penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka dilakukan untuk memperoleh acuan dari penelitian sebelumnya. Dengan meninjau penelitian sejenis yang pernah dilakukan, maka diharapkan dapat diperoleh informasi dan data yang berguna pada penelitian kali ini. Beberapa literatur yang dijadikan acuan antara lain :

1. (Septiana, 2012) telah melakukan analisa umur kelelahan pada *bracket* kapal tanker *single hull* menggunakan *Common Structural Rule Oil Tanker*. Peninjauan dilakukan pada lokasi *bracket* karena lokasi ini dianggap rawan sebagai awal terjadinya *fatigue crack*. Dengan meneliti renggang tegangan terbesar yang dihasilkan *bracket* yang diperoleh dari variasi kondisi pembebanan, maka dapat diperkirakan umur kelelahan dari *bracket*.
2. (Yogiarto, 2014) telah melakukan analisa kelelahan pada kapal tanker *single hull* berdasarkan *Common Structural Rule Oil Tanker*. Analisa dilakukan terhadap lima lokasi akhir sambungan kontruksi menggunakan bantuan *software finite element*. Hasil tegangan akibat variasi kondisi pembebanan diukur menggunakan *cumulative fatigue damage* berdasarkan aturan *Palmgren-Miner's Rule* untuk memperkirakan umur *fatigue*.
3. (Widodo, 2010) dalam melakukan penelitian dengan judul “Keandalan *Scantling* Struktur Geladak Dan Dasar Pada Konversi Tanker Menjadi FPSO Terhadap Beban Kelelahan” menyatakan pengelompokan beban siklis berdasarkan frekuensi kejadian yang dialami oleh struktur selama masa pengoperasiannya.

2.2 Pintu Dok

Pintu air atau *dock gate (lock gate, caisson)* dalam bidang rekayasa kelautan didefinisikan sebagai struktur berongga yang digunakan untuk menutup jalur masuk air, lintasan, dan *graving dock* (Cornick, 1968). Pada *graving dock*, pintu air digolongkan ke dalam beberapa jenis desain berdasarkan mekanisme perpindahan yang digunakan. Contoh dari jenis pintu dok diantaranya adalah *swinging gate*, *traversing gate*, dan *floating gate*. Pada praktiknya, *floating gate* dengan material pelat baja las-lasan merupakan jenis pintu dok yang umum digunakan.

Secara spesifik, pintu dok dibangun dengan tujuan memberikan fungsi kedap air selama proses pekerjaan dilakukan di *graving dock* dengan waktu buka-tutup pintu sesingkat mungkin (Tsinker, 1995). Fungsi kedap air diberikan menggunakan segel yang terbuat dari kayu atau *hard rubber* pada bagian sisi dalam pintu dok sehingga tekanan air luar ditahan sepenuhnya oleh pintu dan tidak menyebabkan kerusakan pada segel. Pintu dok jenis *floating gate* tidaklah memiliki koneksi permanen terhadap struktur *graving dock*.

Dalam menjalankan fungsinya, maka pintu dok harus memiliki kemampuan apung yang dapat diatur sesuai dengan kondisi pengoperasian dari dok. Untuk mendukung proses pengoperasian serta perpindahan posisi, maka pintu dok dilengkapi dengan tangki *ballast*. Pengoperasian dari tangki *ballast* ini adalah sebagai berikut :

- Pada kondisi kerja dok, pintu dok menampung *ballast* untuk memperkuat kedudukan konstruksinya terhadap *graving dock*. Pada kondisi ini, proses pengeringan dok dilakukan setelah pintu dok diatur dan disegel terhadap bagian pondasinya.
- Pada kondisi dok kosong atau perawatan pintu dok, *ballast* dipompa keluar untuk mengapungkan pintu dok sehingga proses perpindahan mudah dilakukan.

Umumnya pintu dok ditarik keluar dari jalur masuk dok setelah proses dok dibuka. Sedangkan untuk proses penutupan dok, maka dilakukan dengan cara mengosongkan air di dalam dok setelah pintu dok dipasangkan pada jalur masuk dok.

Pintu dok didesain untuk mampu menutup akses ketinggian air maksimal yang terjadi dan mampu membuka minimal pada kondisi perairan rata-rata. Oleh karena itu struktur dari pintu dok harus mampu menahan tekanan air terbesar baik dari sisi luar, atau pada pintu dalam (*inner gates*) harus diperhitungkan area air dalam pintu dok.

2.3 Korosi

Korosi bersamaan dengan kelelahan diketahui sebagai penyebab kerusakan struktural (Owen & Jeom, 2010). Seperti yang banyak dijelaskan pada literatur mengenai korosi, korosi merupakan kerusakan bertahap pada material metal yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan lingkungan. Korosi bersifat merugikan karena dapat mengurangi kekuatan dan sifat asli dari material. Pada struktur bangunan laut seperti kapal tanker dan FPSO, pengaruh korosi terhadap ketebalan pelat dalam analisa kelelahan telah diatur berdasarkan CSR (*common structural rule*) yang diadopsi oleh BKI.

Pada struktur pintu dok dimana pengaruh korosi belum diatur, maka nilai pengurangan tebal akibat korosi diasumsikan menurut “*Regulation For The Corrosion Protection and Coating System 2004*” Section 3.B.2.1 yang diterbitkan oleh BKI. Berdasarkan aturan ini maka desain korosi dilakukan dengan asumsi hanya terjadi korosi permukaan yang merata atau pada atmosfer laut hanya terjadi korosi pembentukan lubang dangkal. Untuk material *unalloyed and low-alloyed steel and steel casting* maka izin korosi pertahun dari masa pengoperasian yang direncanakan adalah :

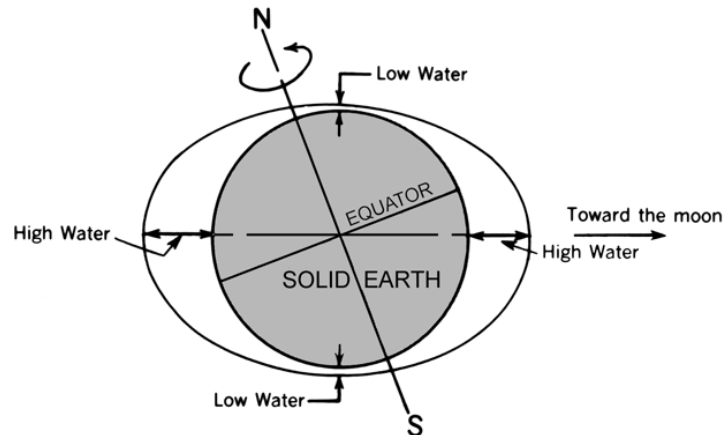
- **0.21 mm** untuk area basah
- **0.10 mm** untuk komponen dan struktur yang hanya terekspos atmosfer air laut

2.4 Fenomena Pasang Surut Air Laut

2.4.1 Definisi

Berdasarkan definisi yang diperoleh dari NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) pasang surut adalah pergerakan periodikal yang disebabkan adanya perubahan gaya tarik menarik antara bulan dan matahari pada bumi yang terus berotasi. Gaya pasang surut dihasilkan oleh bulan dan matahari. Bulan merupakan penyebab utama terjadinya pasang surut dibandingkan matahari yang hanya sebesar 46 %.

Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari dan menghasilkan dua tonjolan (*bulge*) pasang surut gravitasional di laut seperti yang nampak pada gambar 2.1. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari, gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar daripada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut air laut karena jarak bulan lebih dekat daripada jarak matahari.

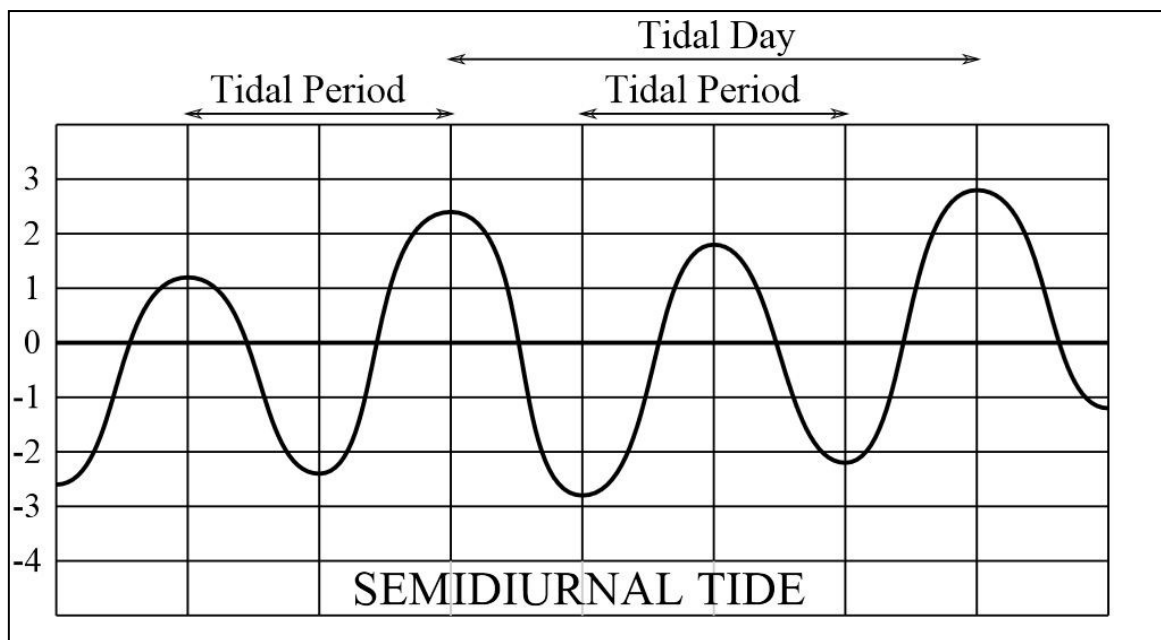


Gambar 2. 1 Ilustrasi pasang surut di permukaan laut

2.4.2 Tipe Pasang Surut

1) Pasang surut harian ganda (*semidiurnal tide*)

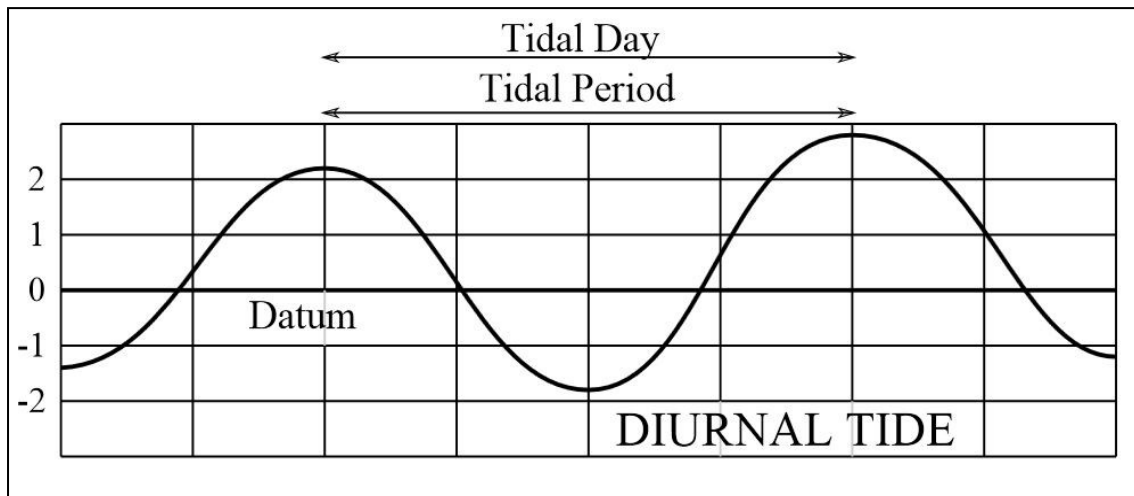
Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut secara berurutan (lihat pada gambar 2.2). Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 20 menit. Pasang surut jenis ini terdapat pada Selat Malaka sampai Laut Andaman.



Gambar 2. 2 Periode pasang surut harian ganda

2) Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi satu kali pasang surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terjadi pada perairan Selat Karimata. Gambar dibawah ini menjelaskan kondisi pasang surut harian tunggal.



Gambar 2. 3 Periode pasang surut harian tunggal

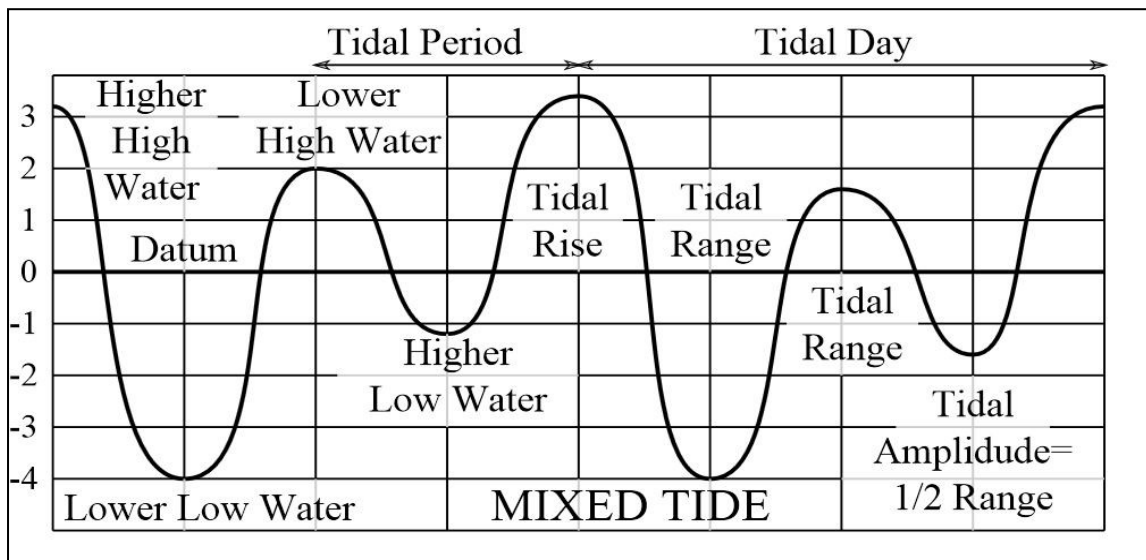
3) Pasang surut campuran (*mixed tide*)

a) Pasang surut campuran condong kehariian ganda

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi periodenya berbeda. Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia Timur.

b) Pasang surut campuran condong kehariian tunggal

Dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut, namun pada periode tertentu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda. Pasang surut jenis ini terdapat pada daerah Selat Kalimantan dan Pantai Utara Jawa Barat. Gambar dibawah ini menggambarkan jenis pasang surut campuran dimana terdapat dua kejadian pasang surut dengan ketinggian yang berbeda dalam satu hari.



Gambar 2. 4 Periode pasang surut campuran

2.5 Beban Kerja Pada Pintu Dok

2.5.1 Jenis Beban Siklis

Suatu struktur yang berhubungan langsung dengan air laut akan menerima beban berulang (siklis) dengan nilai yang bervariasi. Beban ini dapat terjadi hingga berjuta kejadian sampai terjadinya kegagalan kelelahan (*fatigue failure*) (Bai, 2003). Penentuan beban siklis yang akan diaplikasikan pada struktur konstruksi penting untuk memperoleh nilai *renggang* tegangan yang dijadikan acuan dalam melakukan analisa *fatigue*.

Dikutip dari penelitian oleh Widodo (2010), beban siklis dapat digolongkan sebagai berikut :

- Beban siklis frekuensi rendah yang ditimbulkan oleh eksitasi gelombang dengan jumlah sekitar 107 hingga 108 kali selama umur operasi struktur (25 tahun)
- Beban siklis frekuensi tinggi, yang dapat diklasifikasikan menjadi beban *transient* (*slamming, wave slapping, hull whipping*) dan *steady* (mesin baling-baling) dengan jumlah sekitar 106 kali selama masa operasi struktur (25 tahun)
- Beban siklis frekuensi sangat rendah (statis) akibat perubahan muatan diatas struktur dan hidrostatik dengan jumlah 4000 – 8000 kali selama umur operasi struktur (25 tahun)
- Beban siklis karena gradien panas tak beraturan akibat cuaca dan temperatur muatan dengan jumlah sekitar 7000 kali selama umur operasi struktur.

Berdasarkan pernyataan tersebut, pada struktur pintu dok, beban kerja yang dikategorikan sebagai beban siklis adalah beban siklis frekuensi sangat rendah (statis) akibat perubahan muatan di atas struktur dan hidrostatik.

2.5.2 Beban Hidrostatik

Pada dasarnya, pintu dok didesain untuk mampu menahan tekanan hidrostatik (Tsinker, 1995). Dalam hal ini pintu dok harus mampu menahan beban tekanan air dari sisi perairannya. Tekanan hidrostatik pada pintu dok diperoleh akibat tekanan air laut dan tekanan akibat muatan tangki *ballast* didalamnya.

Berdasarkan literatur fisika dasar, tekanan hidrostatik merupakan beban yang diakibatkan oleh fluida pada suatu titik tertentu dalam fluida tersebut akibat gaya gravitasi. Peningkatan tekanan hidrostatik sebanding dengan kedalaman diukur dari permukaan disebabkan kenaikan berat dari cairan yang mendorong gaya dari atas kebawah. Secara umum tekanan hidrostatik diperoleh dari persamaan berikut ini :

$$p = \rho \times g \times h \quad (\text{kN/m}^2)$$

Dimana :	p = tekanan hidrostatik	[kN/m ²]
	ρ = massa jenis fluida	[ton/m ³]
	g = percepatan gravitasi	[m/s ²]
	h = tinggi titik terhadap permukaan fluida	[m]

2.5.3 Berat Pintu Dok

Berdasarkan Hukum Archimedes mengenai gaya apung, maka terdapat tiga kondisi yang menunjukkan kedudukan benda apung, yang dipengaruhi oleh gaya apung (F_a) dan berat dari benda tersebut (W), yaitu :

- Benda Mengapung ketika $F_a = W$
- Benda Melayang ketika $F_a = W$
- Benda Tenggelam ketika $F_a < W$

Selama masa pengerjaan dilakukan pada dok, maka kondisi pada nomor tiga haruslah terpenuhi untuk memastikan bahwa pintu dok tepat duduk pada dudukannya terhadap pintu dok. Kondisi ini dapat diperoleh dengan menentukan nilai muatan tangki minimum yang dibutuhkan oleh pintu dok. Nilai minimum ini diperoleh dengan memecah komponen berat pintu dok sebagai berikut :

$$W = W_{\text{kontruksi}} + W_{\text{ballast}} [\text{ton}]$$

dan

$$F_a = \text{Gaya angkat yang dibutuhkan untuk mengapungkan } W$$

Sehingga untuk menjaga posisi pintu dok tetap duduk pada pondasinya, nilai W harus selalu lebih besar dibandingkan dengan nilai F_a dalam berbagai kondisi. Nilai W dapat diatur apabila kita mengetahui berat dari kontruksi dan tangki *ballast* minimal yang dibutuhkan.

1) Berat Minimum Tangki Ballast

Seperti yang disebutkan pada literatur mengenai kapal, gaya angkat pada pintu dok dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F_a = \Delta = \rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B [\text{ton}]$$

Dimana :

Δ	=	displasemen	(ton)
ρ	=	massa jens fluida	(ton/m ³)
L	=	panjang pintu dok	(meter)
B	=	lebar/ tebal pintu dok	(meter)
T	=	sarat pintu dok yang diperhatikan	(meter)
C_B	=	koefisien blok pintu dok	

Sehingga nilai muatan tangki minimum yang dibutuhkan untuk mendudukan pintu dok adalah :

$$W_{\text{ballast}} = \rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B - W_{\text{kontruksi}} [\text{ton}]$$

2) Berat Kontruksi Pintu Dok

Komponen struktur kontruksi pintu dok terdiri dari material baja sebagai kontruksi utama dan material karet sebagai komponen pemberi fungsi kedap air. Untuk memperoleh berat total kontruksi, maka dilakukan penguraian dari masing-masing detail kontruksi sebagai berikut :

$$W_{\text{kontruksi}} = W_{\text{baja}} + W_{\text{bantalan karet}} [\text{ton}]$$

Dimana proses perhitungan dilakukan dengan menguraikan masing-masing komponen kontruksi dari pintu dok yang ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 2. 1 Perhitungan berat kontruksi pintu dok

Item	n	L (mm)	B (mm)	tebal (mm)	profil	w ₁ (mm)	t ₁ (mm)	w ₂ (mm)	t ₂ (mm)	W (ton)
Pelat Alas										
Senta										
Strong Beam										
Side Plate										
Pelat Sisi										
.....										
.....										
.....										
i										
										Σ ₁

2.6 Kondisi Batas

Pintu dok, dalam hal ini *floating gate* memiliki dimensi yang diatur oleh panjang efektif dari pintu dan desain ketinggian air. Pada prinsipnya, pintu dok didesain untuk dibebani oleh tekanan hidrostatik dengan tumpuan pada ke tiga sisinya dan satu sisi bebas (Tsinker, 1995). Untuk kepentingan pemodelan, secara umum kondisi batas yang akan dialami oleh pintu dok dijelaskan sebagai berikut :

2.6.1 Tipe Tumpuan

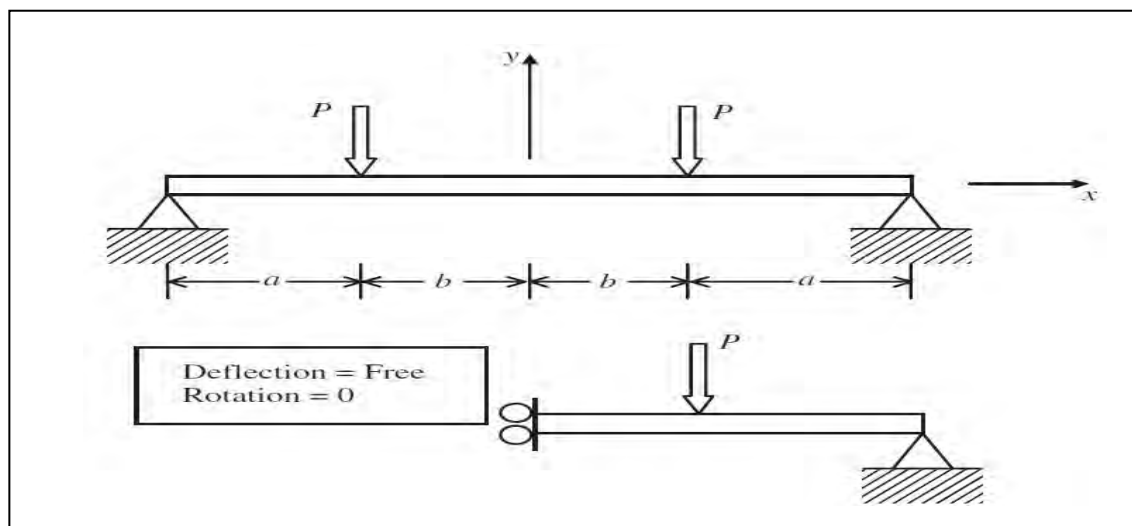
Sifat-sifat gaya reaksi yang timbul pada suatu benda yang mendapat beban tergantung bagaimana benda tersebut ditumpu atau bagaimana benda tersebut disambung dengan benda lain. Ada beberapa pengondisian tumpuan pada sebuah struktur. Pada umumnya tumpuan yang sering dijumpai pada struktur adalah tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*) dan tumpuan sendi/engsel (*hinge*). Penjelasan dari tipe tumpuan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 2 Jenis-jenis tumpuan dan definisinya

Jenis Tumpuan	Perpindahan	Resultan
	$dv = 0$ $dh = 0$ $\phi = 0$	$Fv \neq 0$ $Fh \neq 0$ $M \neq 0$
	$dv = 0$ $dh \neq 0$ $\phi \neq 0$	$Fv \neq 0$ $Fh = 0$ $M = 0$
	$dv = 0$ $dh = 0$ $\phi \neq 0$	$Fv \neq 0$ $Fh = 0$ $M = 0$

2.6.2 Kondisi Batas Pada Struktur Simetri

Banyak struktur dan objek yang menunjukkan bentuk simetri. Struktur simetris memberikan banyak keuntungan dalam proses penyederhanaan model. Penyederhanaan struktur simetri dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan dan waktu yang dibutuhkan pada proses analisa menggunakan komputer (Liu & Quek, 2003).



Gambar 2. 5 Ilustrasi penyederhanaan masalah pada benda *mirror symmetry*

Pada gambar diatas, model simetri dapat disederhanakan menjadi setengah bagian dan digantikan oleh tumpuan *roll* tegak lurus pada garis simetrinya. Jenis simetri ini dikategorikan sebagai *mirror symmetry* atau benda simetris sepanjang penampang. Struktur dapat dikatakan sebagai *mirror symmetry structure* apabila memiliki geometri, kondisi tumpuan, dan sifat material yang simetris. Pada benda simetris tiga dimensi, kondisi batasan diberikan pada tabel berikut ini :

Tabel 2. 3 Kondisi batasan untuk benda simetri tiga dimensi

Penampang simetris	x	y	z	Φ_x	Φ_y	Φ_z
XY	Bebas	Bebas	Tetap	Tetap	Tetap	Bebas
YZ	Tetap	Bebas	Bebas	Bebas	Tetap	Tetap
ZX	Bebas	Tetap	Bebas	Tetap	Bebas	Tetap

2.7 Pemodelan Elemen Hingga

2.7.1 Pemilihan Jenis Model Berdasarkan tegangan yang digunakan

Pemilihan jenis model dilakukan berdasarkan jenis tegangan yang dianalisa, dalam hal ini terdapat jenis tegangan *nominal* dan tegangan *hotspot*. Berdasarkan *BKI 2005 Analysis Techniques Strength*, apabila digunakan tegangan *nominal*, maka perhitungan tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan ***relatively coarse finite element methods*** untuk mewakili struktur yang dianalisa. Hasil dari tegangan *nominal* dapat dianalisa sebagai berikut :

- 1) Diperkirakan langsung terkait dengan *detail category* yang sesuai.
- 2) Dikalikan dengan *Stress Concentration Factor* (K_s).
- 3) Dijadikan kondisi batas untuk model lokal dari *detail category* yang diperhatikan.

Apabila analisa kelelahan didasarkan pada tegangan *hotspot*, berdasarkan *International Institute of Welding (IWW) 1996*, maka struktur dimodelkan pada elemen hingga sebagai berikut :

- 1) Tegangan *hotspot* dihitung menggunakan sambungan las dalam kondisi ideal tanpa ada *misalignment*.
- 2) Ukuran *meshing* pada elemen hingga harus dibuat sebaik mungkin di dekat area *hotspot* sehingga tegangan dan gradiensi tegangan dapat ditentukan pada titik yang dapat dibandingkan dengan poin ekstrapolasi yang digunakan untuk mengukur *strain gauge*.
- 3) Pelat, pelat bilah dan pelat hadap dimodelkan menggunakan *4-node thin shell* atau *8-node solid element*. Pada gradiensi tegangan yang curam, direkomendasikan menggunakan *8-node thin shell element* atau *20-node solid element*.
- 4) Saat menggunakan *thin shell element*, struktur dimodelkan pada titik tengah ketebalan pelat. Ketika dibutuhkan, ketegaran pada perpotongan las dimasukkan kedalam model dengan memodelkan las menggunakan *shell element* yang dimiringkan.
- 5) Rasio elemen tidak boleh lebih besar dari 3.
- 6) Ukuran elemen pada *hotspot area* dibuat 1-2 kali dari ketebalan struktur.
- 7) Pusat luasan (*centroid*) pada elemen yang berbatasan dengan kaki las harus diletakkan di antara kaki las dan 0.4 t dari kaki las.
- 8) Tegangan dihitung pada permukaan dari pelat.

Dengan analisa *finite element* tersebut, nilai tegangan *hotspot* pada sambungan las dihitung sebagai berikut :

- Ekstrapolasi tegangan pada struktur yang mengalami diskontinuitas dimana gradiensi tegangan terbesar diperkirakan terjadi. Nilai ini diperoleh berdasarkan nilai tegangan pada 0.5 t dan 1.5 t dari kaki las.

- Tegangan pada titik *hotspot*, apabila gradiensi tegangan tidak naik secara jelas

Selain dua cara diatas, tegangan *hotspot* dapat ditentukan berdasarkan formula parametris yang memberikan faktor konsentrasi tegangan (K_s) berdasarkan nilai tegangan *nominal* yang diperoleh.

2.7.2 Pemilihan Tipe Elemen

Pemilihan tipe elemen secara garis besar didasarkan pada ketergantungan objek analisa. Karakteristik dari elemen yang dipilih harus bisa merefleksikan tingkat ketegaran struktur dan hasil analisa tegangan yang memadai.

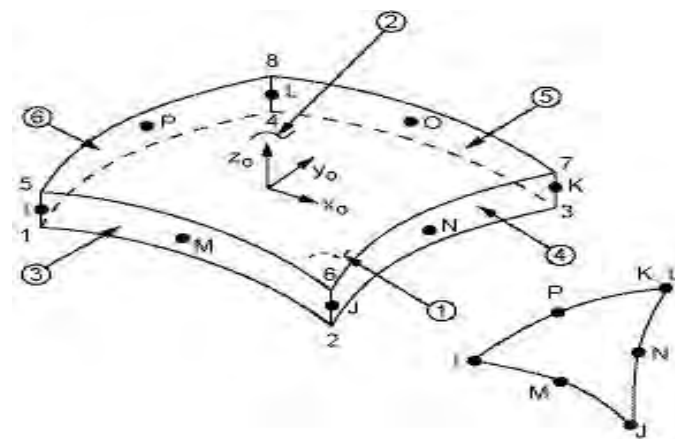
Berdasarkan pedoman yang diberikan oleh BKI *Analysis Techniques Strength 2005*, pada proses analisa kekuatan kapal (dalam hal ini kekuatan kelelahan), jika mengikutsertakan efek *bending* pada struktur pelat, penumpu, dan penegar, serta seluruh penumpu kapal, maka pemodelan berdasarkan *beam element* dan *plate/shell element* direkomendasikan. Elemen tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- *Beam element*; elemen 2 dimensi dengan ketegaran *axial*, *shear*, *bending* dan *torsional*.
- *Plate dan Shell element*; elemen 2 dimensi yang dilengkapi dengan ketegaran *membrane*, *bending* dan *torsional*.

Berdasarkan pedoman yang diberikan oleh BKI diatas, dan tinjauan pustaka yang dilakukan terhadap tugas akhir oleh Argo (2014) menggunakan *software* yang sama sebelumnya, maka dipilih elemen sebagai berikut :

1. Shell Element

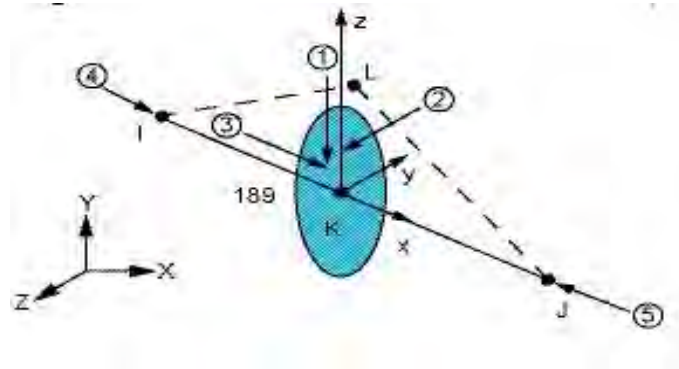
Penggunaan *shell element* diaplikasikan pada pemodelan dengan struktur konstruksi yang tipis, dimana ukuran dari satu dimensi jauh lebih kecil dibandingkan dengan dua dimensi lainnya. Elemen pada *shell* terdiri dari 8 titik nodal (I, J, K, L, M, N, O, P) dimana masing-masing dari nodal memiliki 6 derajat kebebasan (translasi dan rotasi pada sumbu x, y, z). Penggunaan *mid-side node* pada *shell element* memungkinkan hasil perhitungan yang lebih akurat. Ilustrasi dari elemen *shell* dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2. 6 *Shell element*

2. Beam Element

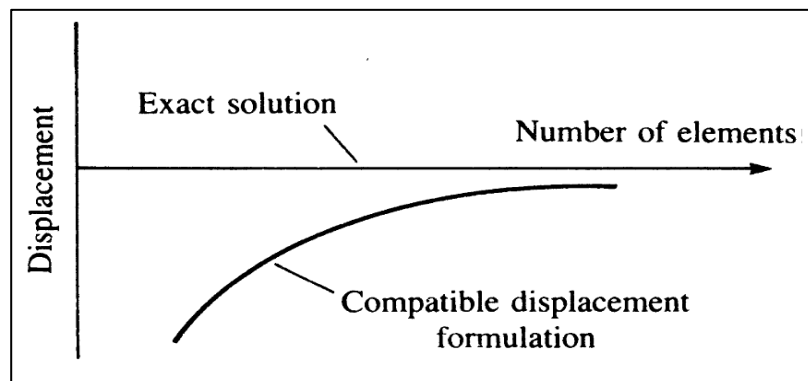
Penggunaan *beam element* diaplikasikan pada pemodelan dengan struktur ramping yang memiliki ketebalan. Elemen *beam* dengan 3 nodal terdiri dari tiap nodal yang memiliki 6 derajat kebebasan (translasi dan rotasi pada sumbu x, y, z). Penggunaan *mid-side node* pada *beam* memungkinkan hasil perhitungan yang lebih akurat dibandingkan *beam element* lainnya yang hanya memiliki 2 nodal. Ilustrasi dari elemen *beam* dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2. 7 *Beam element*

2.7.3 Konvergensi

Tingkat akurasi pada proses penyelesaian analisa elemen hingga berbanding lurus terhadap bertambahnya jumlah elemen yang digunakan (gambar 2.8). Namun peningkatan jumlah elemen yang digunakan juga berpengaruh terhadap jumlah waktu dan biaya yang dibutuhkan selama proses analisa (Owen & Jeom, 2010). Pada banyak kasus, permasalahan ini diselesaikan melalui proses gradasi terhadap ukuran elemen untuk memperoleh hasil yang lebih mendetail pada area struktur dimana terjadi konsentrasi tegangan akibat adanya bukaan atau potongan tertentu di sekitar beban yang diaplikasikan.



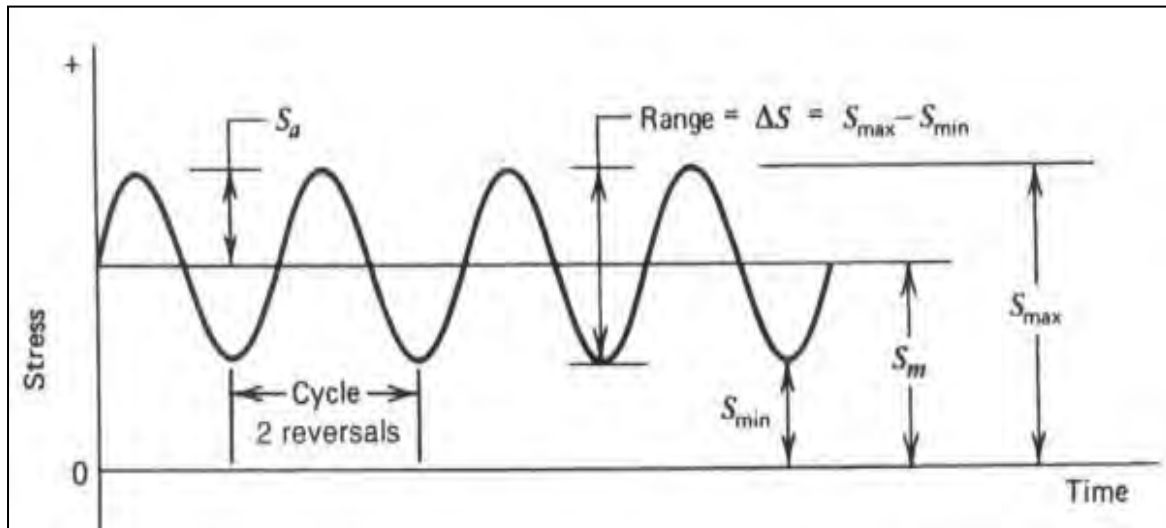
Gambar 2. 8 Hubungan antara jumlah elemen dan parameter fungsinya

Besarnya variasi antara struktur dan beban menyebabkan sulitnya menentukan besar ukuran elemen yang dapat memberikan hasil akurasi terbaik. Pada beberapa kasus penentuan ukuran elemen didasari pada pengalaman yang ada pada kasus sebelumnya. Apabila hal ini tidak memungkinkan, maka harus dilakukan deretan proses analisa yang dilakukan pada ukuran elemen yang bervariasi sehingga diperoleh hasil konvergensi yang memuaskan.

2.8 Perhitungan Siklus Pada Analisa Kelelahan

2.8.1 Beban Amplitudo Konstan

Berdasarkan *ASTM standar practice for Cycle Counting in Fatigue Analysis*, beban amplitudo konstan, pada beban kelelahan, didefinisikan sebagai proses pembebanan dimana masing-masing nilai puncak (*peak*) adalah sama dan masing-masing nilai (*valley*) adalah sama.



Gambar 2. 9 Beban amplitudo konstan

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa perubahan amplitudo beban bernilai konstan sepanjang waktu. Pada praktiknya struktur yang diberikan beban amplitudo konstan jarang ditemukan. Apabila ini terjadi, maka analisa kelelahan dapat dilakukan dengan mengaplikasikan langsung *detail category* berdasarkan S-N diagram yang sesuai untuk memperoleh nilai *cumulative damage ratio*.

2.8.2 Beban Amplitudo Bervariasi

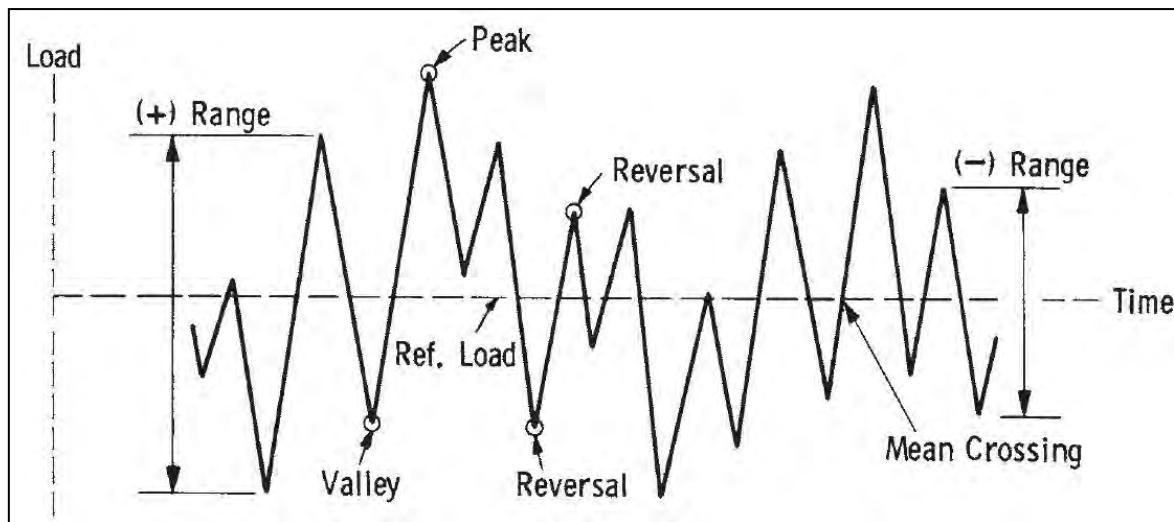
Berdasarkan *ASTM standar practice for Cycle Counting in Fatigue Analysis*, beban amplitudo bervariasi atau *spectrum loading*, pada beban kelelahan, didefinisikan sebagai pembebanan dimana puncak dari masing-masing beban tidaklah sama dan/atau lembah dari masing-masing beban tidak bernilai sama. Pada beban amplitudo bervariasi perhitungan *cumulative damage* secara langsung tidak dapat dilakukan secara langsung dikarenakan satu siklus komplit tidak dapat terdefinsikan secara baik. Untuk itu diperlukan teknik perhitungan khusus untuk menentukan jumlah siklus komplit yang terjadi dalam suatu renggang tegangan. Berdasarkan rekomendasi oleh ASTM, Metode *Rainflow Counting* digunakan pada prosedur perhitungan jumlah siklus.

2.8.3 Teknik Perhitungan Siklus

Teknik perhitungan siklus digunakan untuk menghimpun siklus beban irregular – satuan waktu menjadi sejumlah siklus dari masing-masing ukuran renggang beban yang terjadi. Seperti yang dijelaskan di atas, salah satu teknik perhitungan yang direkomendasikan oleh ASTM adalah Metode *Rainflow Counting*. Berdasarkan jumlah

kejadian siklus terhadap waktu maka Metode *Rainflow Counting* dapat dikategorikan kedalam dua jenis, yaitu :

1. *Rainflow Conting Method*, yaitu teknik perhitungan siklus yang digunakan untuk menghimpun siklus dari beban amplitudo yang berubah sepanjang waktu.
2. *Simplified Rainflow Counting for Repeating History*, yaitu teknik perhitungan siklus yang digunakan untuk menghimpun siklus dari beban amplitudo bervariasi untuk kejadian waktu yang terus berulang.



Gambar 2. 10 Parameter dasar untuk beban kelelahan

Seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas, terdapat beberapa istilah penting yang harus didefinisikan pada proses perhitungan jumlah siklus berdasarkan Metode *Rainflow Counting*, yaitu :

- Load

Pada perhitungan beban kelelahan (*fatigue loading*) dapat didenotasikan sebagai gaya, tegangan, regangan, torsi, atau parameter lainnya yang menjadi perhatian.

- Peak

Pada perhitungan beban kelelahan (*fatigue loading*) didenotasikan sebagai poin dimana nilai titik beban (*load*) terhadap waktu berubah dari tanda positif menjadi negatif .

- Valley

Pada perhitungan beban kelelahan (*fatigue loading*) didenotasikan sebagai poin dimana nilai titik beban (*load*) terhadap waktu berubah dari tanda negatif menjadi positif .

- Reference Load

Digunakan pada perhitungan untuk menentukan tingkat beban pada kondisi *steady state*. Besar nilai dari *reference load* umumnya identik dengan nilai *mean load* $(P_{\max} + P_{\min}) / 2$.

- Range

Pada perhitungan beban kelelahan (*fatigue loading*) merupakan perbedaan nilai antara *peak* dan *valley*.

2.9 Kelelahan

2.9.1 Pendahuluan

Kelelahan (*fatigue*) adalah akumulasi kerusakan material yang disebabkan oleh beban siklis (Bai, 2003). Banyak bagian dari struktur yang harus bertahan dari tegangan yang menimpa selama masa operasinya. Pada struktur bangunan laut contohnya adalah perubahan tegangan yang diakibatkan oleh beban akibat gelombang, pusaran akibat getaran dan fluktuasi beban yang disebabkan angin dan efek lingkungan lainnya.

Umumnya besar amplitudo beban dari tiap siklus tidaklah cukup untuk menyebabkan terjadinya kegagalan struktur. Namun kegagalan tersebut dapat terjadi saat akumulasi dari siklus yang dialami oleh struktur mencapai level kritisnya. Umur kelelahan dari detail suatu struktur berhubungan langsung dengan proses kelelahan, yang dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- *Initiation of macrocracks*

Fase ini dicirikan dengan perkembangan kumulatif regangan plastis di ujung retak kecil bersamaan dengan perubahan struktur mikro material, yang mengarah ke pertumbuhan dan perpaduan dari cacat las mikroskopis yang ada, dan akhirnya membentuk retak besar.

- *Crack Growth*

Pada fase kedua, retak besar berkembang ke arah tegangan terbesar dengan tingkat perambatan sekitar 10^{-6} hingga 10^{-3} mm per siklus.

- *Final Failure*

Pada fase akhir, kegagalan terjadi apabila ukuran retak telah mencapai ukuran kritisnya.

Pada analisa kelelahan, fase kegagalan tersebut didefinisikan dalam hasil pengujian dalam bentuk S-N diagram. Berdasarkan jumlah siklus kegagalan yang dibutuhkan, kelelahan dibagi kedalam dua jenis sebagai berikut :

- *High-cycle (low stress) fatigue*
- *Low-cycle (high stress) fatigue*

Secara khas, kegagalan kelelahan didefinisikan sebagai *low-cycle fatigue* apabila jumlah siklus yang menyebabkan kegagalan besarnya kurang dari 10^4 siklus. Pada *high cycle fatigue*, jumlah yang dibutuhkan untuk mencapai kegagalan dapat mencapai jutaan kali. Pada struktur bangunan laut, *high cycle fatigue* menjadi perhatian utama.

2.9.2 Kekuatan Kelelahan

Kegagalan kelelahan dihindari dengan menjamin bahwa struktur secara keseluruhan, dalam hal ini adalah sambungan las, yang akan mengalami beban siklis selama masa operasinya memiliki kekuatan kelelahan yang memadai (Maddox, 1991). Bai Yong dalam *Marine Structural Design* menjelaskan dalam analisa kelelahan dan kepecahan, terdapat dua metode untuk menentukan kapasitas kelelahan, yaitu menggunakan pendekatan S-N diagram dan mekanika kepecahan. Dalam menghitung desain kelelahan, metode yang sering digunakan adalah S-N diagram. Sedangkan

mekanika kepecahan digunakan untuk menentukan batas ukuran cacat dan memperkirakan laju perambatan retak.

Pada penentuan kapasitas kelelahan berdasarkan S-N diagram, perhitungan siklus didasarkan pada beban amplitudo konstan. Untuk menentukan kekuatan kelelahan yang diakibatkan oleh akumulasi dari beban amplitudo bervariasi maka dapat dilakukan berdasarkan *Palmgren-Miner cumulative damage rule* yang dicantumkan pada *BKI Volume II Rules For Hull 2014 Section 20* sebagai berikut :

$$DM = \sum \left\langle \frac{n_i}{N_i} \right\rangle = 1 \text{ at failure}$$

dimana : n_i = jumlah siklus kejadian pada blok i

N_i = jumlah siklus ketahanan pada blok i diambil dari S-N Diagram

Aturan ini menjelaskan bahwa bahaya kelelahan dari tiap rentang tegangan secara proposional berkaitan langsung dengan siklus yang diberikan. Untuk *renggang* tegangan tertentu S_1 , amplitudo ketahanan konstan N_1 adalah ukuran yang dibutuhkan untuk terjadinya kegagalan. Kegagalan sebagai hasil dari nilai S_1 diaplikasikan pada siklus n_1 sehingga diperoleh rasio kegagalan sebesar n_1 / N_1 . Nilai N_1 diperoleh berdasarkan kurva S-N yang sesuai dengan katalog detail yang diberikan oleh klasifikasi. Dari nilai *cumulative damage ratio* yang diperoleh, maka dapat diperkirakan rasio kegagalan.

2.9.3 Desain S-N Diagram

Pada struktur sambungan las, S-N diagram merupakan cara paling umum yang digunakan dalam menentukan kapasitas kelelahan. S-N diagram menunjukkan hubungan antara rentang tegangan (S) dari tegangan *nominal* terhadap jumlah siklus yang dialami untuk mencapai kegagalannya (N). Jumlah siklus kegagalan diperoleh berdasarkan pengujian beban amplitudo konstan terhadap material yang diujikan hingga terjadi kegagalan (Owen & Jeom, 2010). Berdasarkan penentuan kapasitas *fatigue strength* yang didasarkan pada S-N diagram, maka hubungan antara rentang tegangan gagal (S) yang diplotkan terhadap banyaknya siklus hingga gagal (N) menunjukkan bahwa semakin kecil tegangan, maka akan semakin besar siklus yang menyebabkan kegagalan.

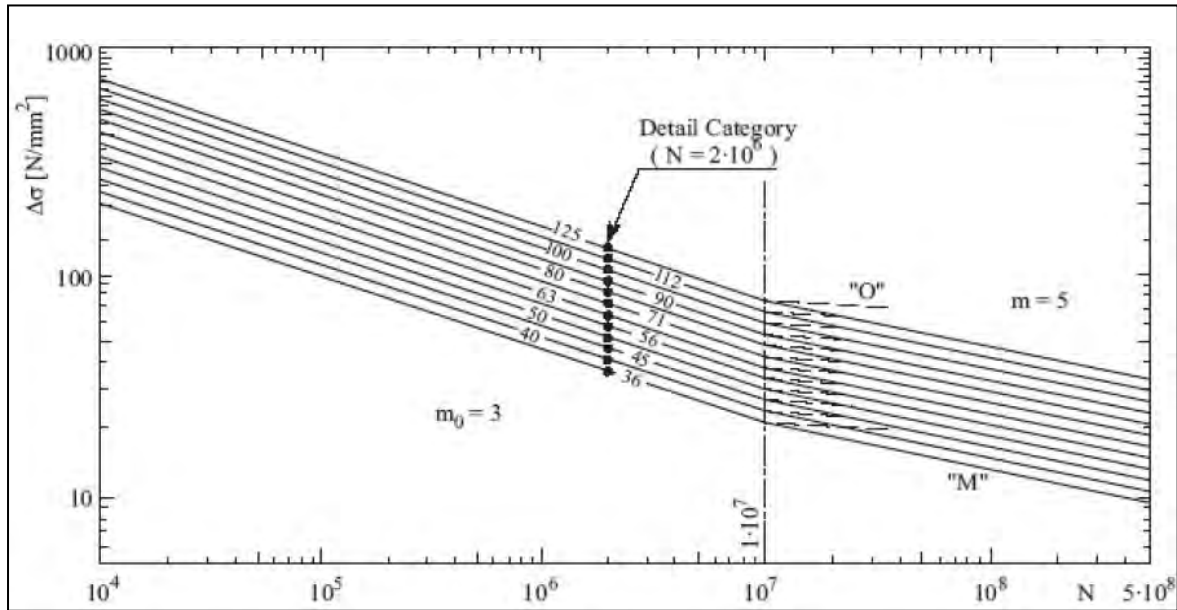
Berdasarkan acuan yang digunakan, yaitu *BKI Volume II Rules For Hull 2014*, S-N diagram menunjukkan hubungan yang linier antara log (S) dan log (N) dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log (N)} = 7,0 + m. Q$$

dimana :

$$\begin{aligned} Q &= \log (\Delta \sigma_R / \Delta \sigma) - 0.69897 / m_0 \\ m_0 &= \text{invers dari slope pada renggang } N \leq 1.10^7 \\ &= 3 \quad (\text{untuk sambungan las}) \\ &= 3.5: 5 \quad (\text{untuk sisi pelat bebas}) \\ m &= \text{slope eksponen dari S-N diagram} \\ &= m_0 \quad ; \text{untuk } N \leq 1.10^7 \quad (Q \leq 0) \\ &= 2. m_0 - 1 \quad ; \text{untuk } N > 1.10^7 \quad (Q > 0) \end{aligned}$$

$\Delta\sigma_R$ = detail kategori jenis sambungan las



Gambar 2. 11 S-N diagram untuk sambungan las baja

Sedangkan koreksi nilai referensi ($\Delta\sigma_{RC}$) pada S-N diagram diperhitungkan sebagai faktor tambahan yang mempengaruhi *fatigue strength* berdasarkan persamaan berikut :

$$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_W \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$$

dimana :

f_m = efek material

$$= 1 + (R_{EH} - 235) / 1200$$

f_R = efek *mean stress*

a) untuk renggang tegangan tarik; $\sigma_m \geq \Delta\sigma_{max}/2$

$$f_R = 1$$

b) untuk renggang tegangan berubah-ubah; $-\Delta\sigma_{max}/2 \leq \sigma_m \leq \Delta\sigma_{max}/2$

$$f_R = 1 + c [1 - 2 \cdot \sigma_m / \Delta\sigma_{max}]$$

c) untuk renggang tegangan tekan; $\sigma_m \leq -\Delta\sigma_{max}/2$

$$f_R = 1 + 2 \cdot c$$

d) $c = 0$; untuk sambungan las mengalami siklus tegangan konstan

$= 0,15$; untuk sambungan las mengalami siklus tegangan bervariasi

$= 0,3$; untuk material yang tidak dilas

f_W = 1 ; efek bentuk las untuk kasus normal

f_i = 1 ; efek tingkat kepentingan struktur; untuk kasus normal

= 0.9 ; untuk struktur sekunder

f_t = $(25/t)^n$; efek ketebalan pelat untuk tebal pelat ≥ 25 mm

2.9.4 Jenis Tegangan

Perkiraan kekuatan kelelahan dari detail struktur membutuhkan penetapan besar tegangan pada daerah kritis, yaitu daerah dimana retak dimulai. Tergantung dari tingkat kehalusan metode yang digunakan, terdapat 3 jenis tegangan yang diperhatikan dalam

analisa kelelahan, yaitu *nominal stress*, *hotspot stress*, dan *notch stress*. (Owen & Jeom, 2010).

Menurut penjelasan *BKI Volume II Rules For Hull 2014 Section 20*, untuk sambungan las, analisa kelelahan dapat dilakukan berdasarkan tegangan *nominal* dan tegangan *hotspot* yang dijelaskan sebagai berikut:

1) Tegangan Nominal

Tegangan *nominal* adalah tegangan secara umum pada pelat untuk suatu jarak terhadap titik diskontinuitas dari sambungan pelat dan las itu sendiri.

2) Tegangan Hotspot

Tegangan *hotspot* adalah tegangan yang mengikutsertkan perhitungan akibat pengaruh diskontinuitas struktural yang disebabkan geometri sambungan, namun tidak mengikutsertakan konsentrasi tegangan yang disebabkan kaki las-lasan.

Tegangan *nominal* digunakan berdasarkan detail yang diperhatikan dan pengklasifikasian detail yang sesuai dengan *detail category*. Untuk sambungan las di mana pengklasifikasian detail tidak memungkinkan atau terjadi kenaikan tegangan yang tidak diperhatikan oleh klasifikasi detail, maka dilakukan berdasarkan tegangan *hotspot*.

2.9.5 Lokasi Tinjauan Kelelahan

Untuk tujuan desain kelelahan, tiap bagian dari sambungan las yang mana dapat menjadi tempat *fatigue cracking* haruslah ditempatkan pada salah satu kelas pada klasifikasi jenis sambungan las. Tiap detail konstruksi dimana *fatigue crack* berpotensi berkembang haruslah ditempatkan pada kelas yang relevan sesuai kriteria yang diberikan oleh *codes*. Secara umum terdapat 3 kemungkinan dimana *fatigue crack* berpotensi terjadi, yaitu pada tiap bagian yang disambungkan dan sambungan las itu sendiri (Bai, 2003).

Penggunaan klasifikasi sambungan dan tegangan desain ditunjukkan untuk mencegah retak menjadi kegagalan (*failure*). Pengelompokan kelas didasarkan pada tempat dimana *fatigue crack* terjadi, bukan dari jenis sambungan las sehingga memungkinkan untuk suatu jenis sambungan dapat jatuh ke dalam beberapa kelas tergantung dari kegagalan yang dialami akibat kelelahan (Maddox, 1991)

Berdasarkan *BKI Volume II Rules For Hull 2014*, maka klasifikasi dari tiap sambungan las diberikan dalam *detail category* pada *Section 20 tabel 20.3*. Di sini dijelaskan bahwa struktur las pada *detail category* dengan nilai diatas 80 N/mm^2 pada analisa kelelahan hanya dibutuhkan apabila terjadi kasus tegangan dinamis tinggi yang tidak biasa.

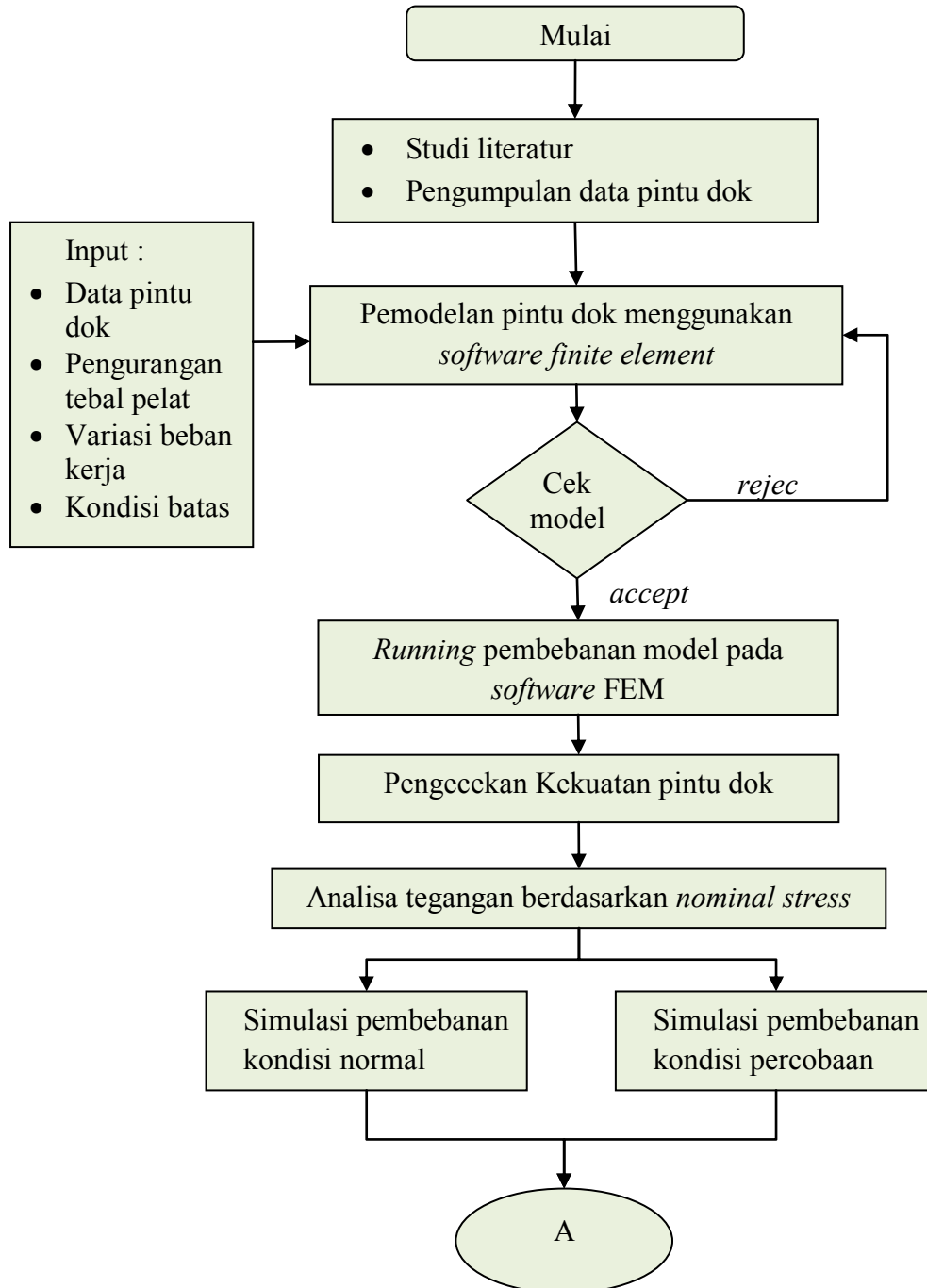
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

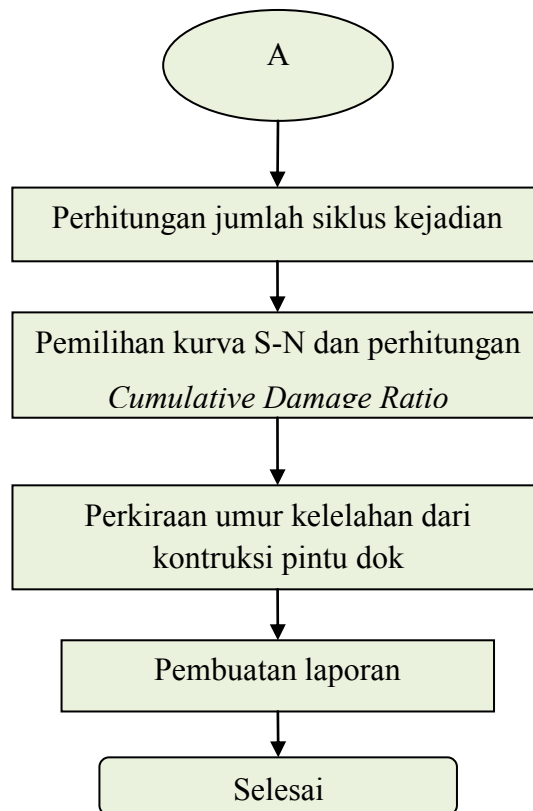
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Metodologi penelitian menunjukan metode-metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini. Penggunaan metode ini dilakukan sesuai dengan langkah-langkah pekerjaan yang diuraikan sebagai berikut:





Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.2 Studi Literatur

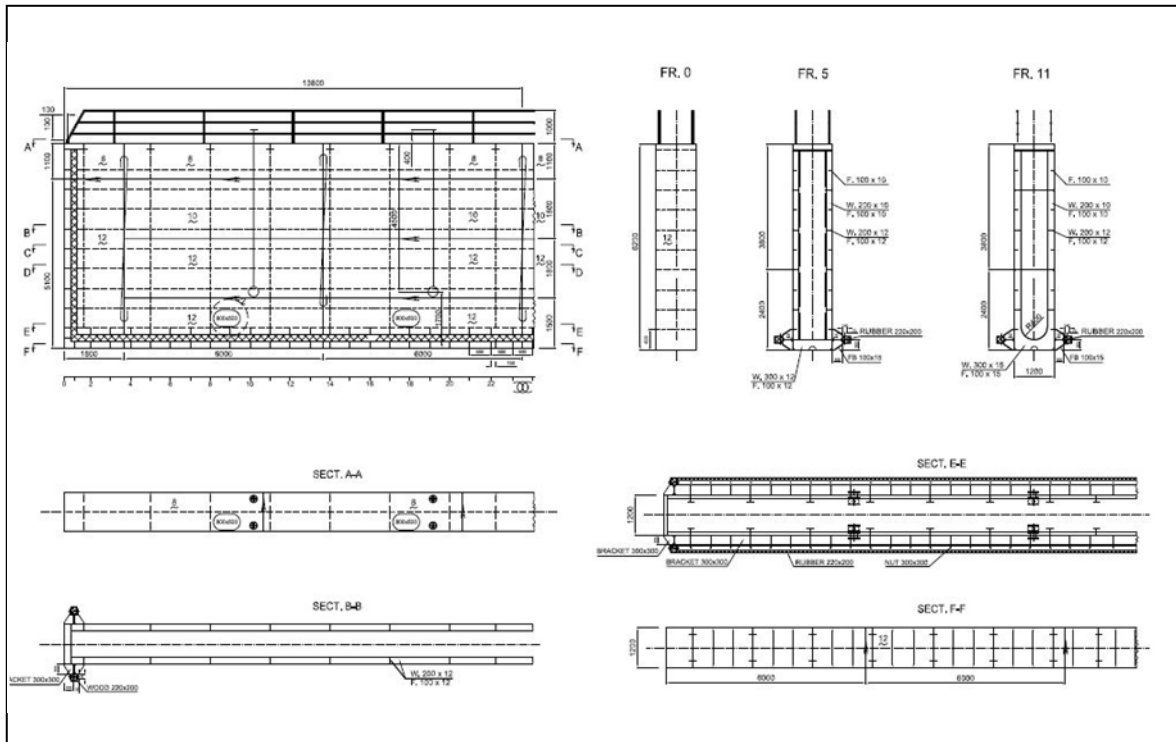
Studi literatur terbagi kedalam dua bagian, yaitu tinjauan pustaka dan dasar teori. Tinjauan pustaka digunakan untuk memperoleh pengalaman dari tugas akhir yang sudah dilakukan sebelumnya. Hal ini dapat berupa metode serta langkah penyelesaian masalah dan informasi yang dibutuhkan. Dasar teori berisikan pengertian dan acuan dari variabel yang digunakan dalam tugas akhir ini.

3.3 Pengumpulan Data Pintu Dok

Pemodelan pintu dok dilakukan berdasarkan data yang terdiri dari gambar *construction profile* dan ukuran utama dari pintu dok. Ukuran utama dari pintu dok pada objek tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Ukuran utama pintu dok

DESKRIPSI	UKURAN	SATUAN
<i>Length over all (LOA)</i>	27.6	meter
<i>Breadth (B)</i>	1.2	meter
<i>Depth (H)</i>	6.2	meter
<i>Maximum draft (design)</i>	5.2	meter
<i>Minimum draft (design)</i>	3.6	meter
<i>Coefficient block (c_B)</i>	1	-



Gambar 3. 2 *Construction profile* pintu dok PT. Dok dan Perkapalan Air Kantung

Seperti yang dapat dilihat pada gambar diatas (untuk lebih jelas dapat dilihat pada lampiran), pintu dok yang menjadi objek pada penelitian ini memiliki 45 gading dengan jarak gading dan pembujur 600 mm. Pada daerah tertentu jarak gading bernilai 500 mm. Struktur kontruksi dari pintu dok dibangun dari baja dan sambungan las sama halnya dengan struktur kontruksi pada kapal. Struktur kontruksi terbagi kedalam komponen sebagai berikut :

- Pelat : Pelat Alas, Pelat Sisi, Pelat Atas
- Penegar : Pembujur Sisi dan Pembujur Geladak
- Penumpu : Pelat Wrang, Pelintang, Senta Sisi, Pelintang Geladak

Sedangkan baja yang digunakan pada kontruksi ini terbuat dari material baja A36 dengan *material properties* sebagai berikut :

- *Modulus Young* : 200 GPa
- *Rasio Poisson* : 0.26
- *Massa Jenis Baja* : 7850 kg/ m³
- *Massa Jenis Karet* : 1200 kg/ m³

3.4 Tebal Pelat Akibat Korosi

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada subbab 2.3 bahwa pengurangan tebal korosi pada struktur pintu dok belum diatur, maka nilai pengurangan tebal akibat korosi diasumsikan menurut “*Regulation For The Corrosion Protection and Coating System*” 2004 Section 3.B.2.1 yang diterbitkan oleh BKI.

Berdasarkan asumsi bahwa laju korosi tidak melebihi besar maksimum yang diizinkan oleh BKI maka dilakukan analisa kekuatan kelelahan dengan besar pengurangan tebal pelat sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Variasi ukuran tebal pelat pintu dok

DESKRIPSI	Ukuran pelat
Kondisi 1	100 % (pengurangan 0 %)
Kondisi 2	97.5 % (pengurangan 2.5 %)
Kondisi 3	95 % (pengurangan 5 %)
Kondisi 4	92.5 % (pengurangan 7.5 %)
Kondisi 5	90 % (pengurangan 10 %)

Hasil perhitungan dari pengurangan tebal pelat akibat korosi dapat dilihat pada Lampiran B-1.

3.5 Penentuan Pasang Surut Air Laut

3.5.1 Lokasi Tinjauan Penelitian

Berdasarkan Buku “Daftar Pasang Surut *Tide Tables* Tahun 2015 Kepulauan Indonesia (*Indonesian Archipelago*)” yang dikeluarkan oleh Dinas Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut, maka diperoleh informasi mengenai jenis perairan air laut pada daerah tinjauan penelitian. Informasi yang dapat dihimpun adalah sebagai berikut :

Lokasi Pintu Dok	: Jl Raya Timah Komplek Dok Air Kantung , Provinsi Bangka Belitung
Lokasi Perairan Terdekat	: Perairan Pangkal Pinang
Lintang	: 02°44’54.1” (Selatan)
Bujur	: 106°08’19” (Timur)
Jenis Pasang Surut	: Harian Tunggal (<i>Diurnal Tide</i>)
Periode Pasang Surut	: 24 Jam 50 menit

Berdasarkan informasi pada tabel diatas dan juga penjelasan yang diberikan pada subbab 2.4, maka dapat diketahui bahwa kondisi pasang surut yang terjadi pada daerah disekitar pintu dok adalah tipe pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*).

3.5.2 Penentuan Variasi Pasang Surut

Setelah diketahui jenis pasang surut disekitar perairan dan nilai pasang surut pada pintu dok maka penulis dalam hal ini mengasumsikan beberapa variasi ketinggian air laut. Berdasarkan informasi mengenai ketinggian pasang surut maksimum pada pintu dok, yaitu antara 5.2 meter dan 3.6 meter maka diketahui bahwa selisih perbedaan tinggi tersebut adalah 1.6 meter. Dengan melakukan variasi perbedaan tinggi pasang surut sebesar 0.5 meter maka diperoleh hasil seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 3. 3 Variasi perubahan pasang surut terhadap waktu

Sarat	Durasi Waktu	
T = 5.2	00:00	04:00
T = 4.7	04:00	08:00
T = 4.2	08:00	12:00
T = 3.6	12:00	16:00
T = 4.2	16:00	20:00
T = 4.7	20:00	00:00
T = 5.2	00:00	04:00

Berdasarkan tabel tersebut maka analisa pada tugas akhir ini dilakukan pada variasi kondisi perairan untuk ketinggian 5,2 meter; 4,7 meter; 4,2 meter; dan 3,6 meter. Hasil variasi dilakukan berdasarkan pembulatan angka sehingga diperoleh nilai sebesar satu angka dibelakang koma.

Berdasarkan lama periode setiap kejadian pasang surut sebesar 24 jam 50 menit maka peneliti mengasumsikan kejadian tersebut dalam satu hari atau 24 jam sehingga periode yang dibutuhkan dari satu pasang surut ke pasang surut lainnya adalah 4 jam. Variasi ketinggian pasang surut ini didasarkan pada kejadian dimana puncak tinggi sarat terjadi pada awal malam hari dan terus berulang setiap harinya sepanjang tahun.

3.6 Perhitungan Berat Pintu Dok

3.6.1 Perhitungan Berat Kontruksi

Perhitungan berat kontruksi ditujukan untuk mengetahui kebutuhan tangki *ballast* minimum yang dibutuhkan untuk mendudukan pintu dok pada pondasinya. Proses perhitungan berat kontruksi dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada subbab 2.5 dengan proses perhitungan pada **lampiran C-1**. Hasil dari perhitungan berat kontruksi pintu dok yang terdiri dari komponen kontruksi dan bantalan karet adalah **64.562** Ton.

3.6.2 Perhitungan Muatan Tangki *Ballast* Minimum

Setelah diperoleh berat kontruksi dari pintu dok, maka dapat diperoleh besar muatan *ballast* minimal yang dibutuhkan untuk mendudukan pintu dok. Besar muatan tangki *ballast* dapat diperoleh berdasarkan persamaan yang terdapat pada subbab 2.5 didasarkan pada pengurangan berat kontruksi terhadap berat displasemen yang dibutuhkan untuk tiap variasi sarat. Proses perhitungan untuk penentuan berat muatan tangki *ballast* dapat dilihat pada **lampiran D-3** dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 3. 4 Hasil perhitungan berat dan muatan tangki *ballast*

T (m)	$\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B$ [ton]	$W_{kontruksi}$ (ton)	$W_{ballast}$ (ton)	$h_{ballast}$ (m)
5.2	176.530	64.5622	111.967	3.3
4.7	159.556	64.5622	94.993	2.8
4.2	142.582	64.5622	78.019	2.3
3.6	122.213	64.5622	57.651	1.7

3.7 Penentuan Simulasi Pasang Surut

3.7.1 Variasi Kondisi Pembebanan

Variasi kondisi pembebanan dilakukan berdasarkan pertimbangan dari kondisi yang memungkinkan pintu dok untuk selalu duduk atau tidak mengapung. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka diperoleh variasi kondisi pembebanan pintu dok yang dapat terjadi seperti yang ditunjukkan oleh tabel berikut ini :

Tabel 3. 5 Variasi keadaan pasang surut terhadap ketinggian muatan *ballast*

Kombinasi		H1 (m)	H2 (m)	H3 (m)
T1 (m)	5.2	5.2	3.3	3.3
T2 (m)	4.7	4.7	3.3	2.8
T3(m)	4.2	4.2	3.3	2.3
T4(m)	3.6	3.6	3.3	1.7

Untuk mempermudah proses pekerjaan, maka variasi kondisi pembebanan tersebut diubah ke dalam notasi pada tabel berikut ini :

Tabel 3. 6 Notasi kondisi pembebanan

Variasi Tinggi Sarat	Variasi Tinggi Muatan Tangki		
	T1H1	T1H2	T1H3
	T2H1	T2H2	T2H3
	T3H1	T3H2	T3H3
	T4H1	T4H2	T4H3

Seperti yang telah diketahui, ketinggian air laut di sekitar pintu dok selalu mengikuti fenomena pasang surut yang terjadi sesuai dengan yang diperlihatkan pada tabel 3.3. Hal ini menyebabkan terjadi perubahan beban kerja yang dialami oleh pintu dok berdasarkan perubahan waktu terjadinya pasang surut. Perubahan beban kerja ini bersamaan dengan pengaruh korosi menjadi objek analisa pada penelitian ini.

3.7.2 Simulasi Kondisi Pembebanan

Kondisi pembebanan oleh pintu dok dilakukan dengan mempertimbangkan variasi antara kondisi tinggi permukaan laut yang dipengaruhi oleh pasang surut dan kondisi muatan tangki *ballast* yang diatur oleh operator pintu dok. Pada kondisi normal pintu dok dimana katup pintu dok dibiarkan terbuka maka akan diperoleh nilai sarat dan tinggi muatan *ballast* yang sama pada pintu dok. Sedangkan untuk mencapai nilai tinggi tangki tertentu, maka antara pompa dan katup dari pintu dok haruslah diatur oleh operator.

Dalam melakukan analisa kelelahan maka penulis membagi variasi ketinggian muatan tangki *ballast* terhadap variasi pasang surut yang terjadi kedalam dua jenis simulasi, yang dijelaskan sebagai berikut :

a) Simulasi Pada Kondisi Normal Pintu Dok

Kondisi normal pintu dok diasumsikan sebagai kondisi dimana ketinggian muatan tangki pada pintu dok tidak diatur secara periodikal oleh operator galangan. Kondisi ini ditentukan ke dalam 2 simulasi sebagai berikut :

1. Simulasi 1

Muatan tangki *ballast* memiliki ketinggian yang sama dengan ketinggian pasang surut terhadap pintu dok selama masa pekerjaan di dalam dok (katup selalu dibiarkan terbuka oleh operator) dimana pasang surut mengikuti fungsi waktu.

2. Simulasi 2

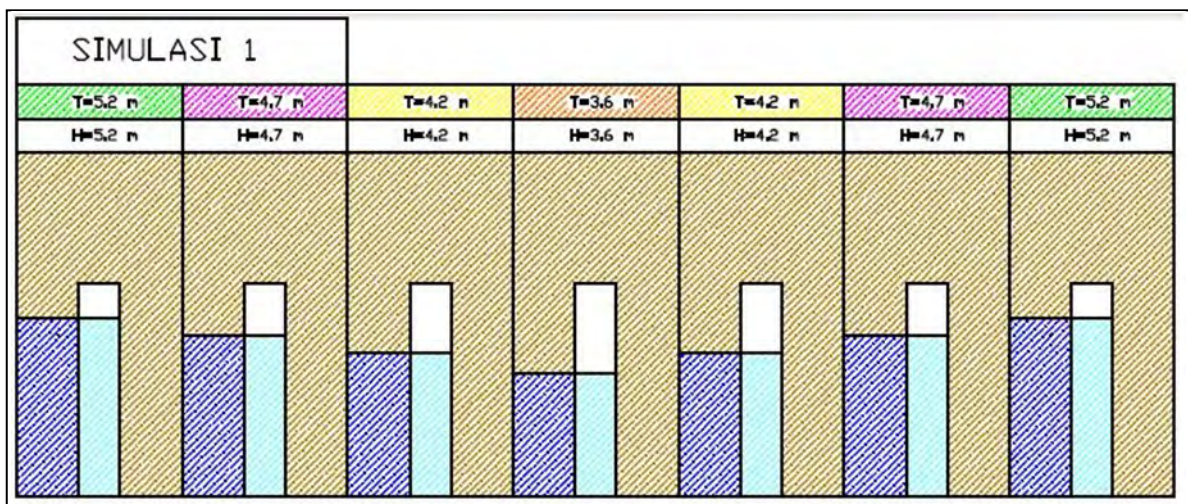
Muatan tangki *ballast* diisi pada ketinggian minimal yang dibutuhkan pintu dok agar tetap duduk pada pondasinya untuk keadaan pasang tertinggi (katup selalu dibiarkan tertutup oleh operator) dimana pasang surut mengikuti fungsi waktu.

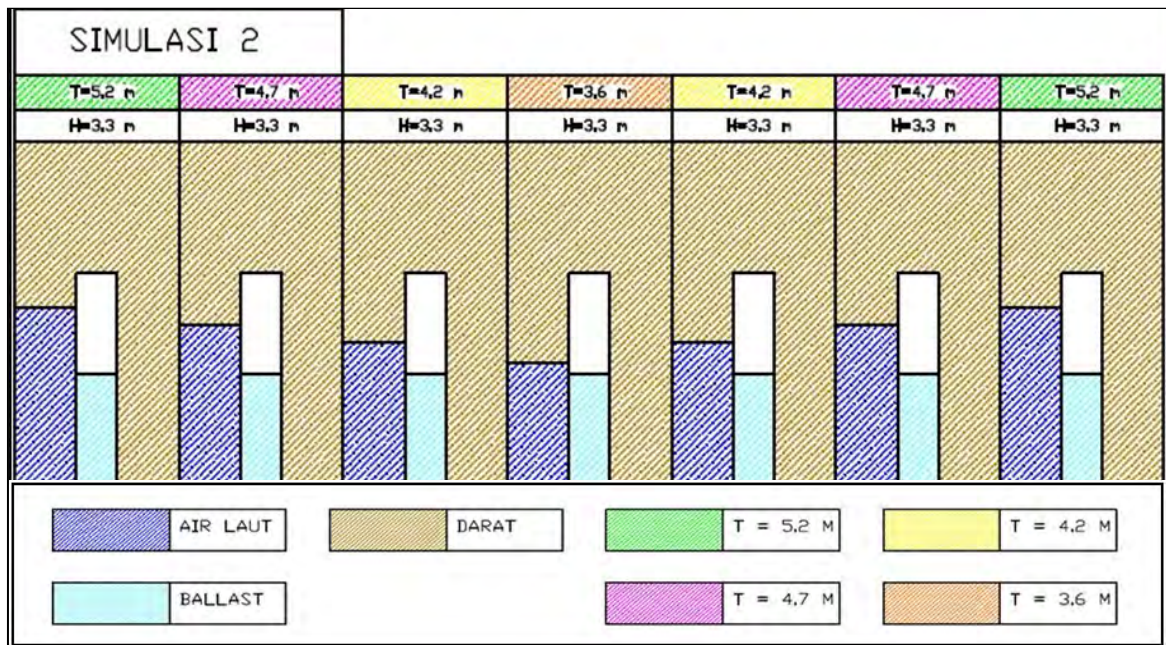
Pada kedua kondisi tersebut, selain untuk kebutuhan keluar masuk kapal dan proses reparasi pintu dok, dianggap pintu dok tidak membutuhkan pengawasan dari operator galangan. Simulasi pembebanan untuk kondisi normal dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. 7 Simulasi pembebanan kondisi normal untuk simulasi S1 dan S2

Simulasi 1	Simulasi 2	Durasi Waktu (Jam)	
T1H1	T1H2	00:00	04:00
T2H1	T2H2	04:00	08:00
T3H1	T3H2	08:00	12:00
T4H1	T4H2	12:00	16:00
T3H1	T3H2	16:00	20:00
T2H1	T2H2	20:00	00:00
T1H1	T1H2	00:00	04:00
T2H1	T2H2	04:00	08:00

Dari tabel diatas, ilustrasi dari kejadian pada simulasi normal dapat digambarkan berikut :





Gambar 3. 3 Simulasi pembebanan kondisi percobaan untuk simulasi S3 dan S4

b) Simulasi Pada Kondisi Percobaan Pintu Dok

Kondisi percobaan merupakan kondisi yang sebenarnya sulit terjadi pada masa pengoperasian pintu dok. Simulasi yang dilakukan pada kondisi percobaan dilakukan untuk menganalisa kelelahan dari pintu dok akibat terjadinya perubahan tinggi muatan *ballast* untuk tinggi permukaan pasang yang sama yang kemudian diikuti terjadinya perubahan pasang surut. Kondisi ini dibagi ke dalam 2 simulasi sebagai berikut :

1. Simulasi 3

Muatan tangki *ballast* mula-mula sama dengan tinggi pasang yang terjadi, kemudian dikurangi mencapai ketinggian minimum yang dibutuhkan pada pasang tersebut sehingga pintu dok tetap duduk pada pondasinya.

2. Simulasi 4

Muatan tangki *ballast* mula-mula sama dengan tinggi pasang yang terjadi, kemudian dikurangi mencapai ketinggian minimum yang dibutuhkan pada ketinggian pasang terbesar ($H = 3.3 \text{ m}$; $T = 5.2 \text{ m}$) sehingga pintu dok tetap duduk pada pondasinya.

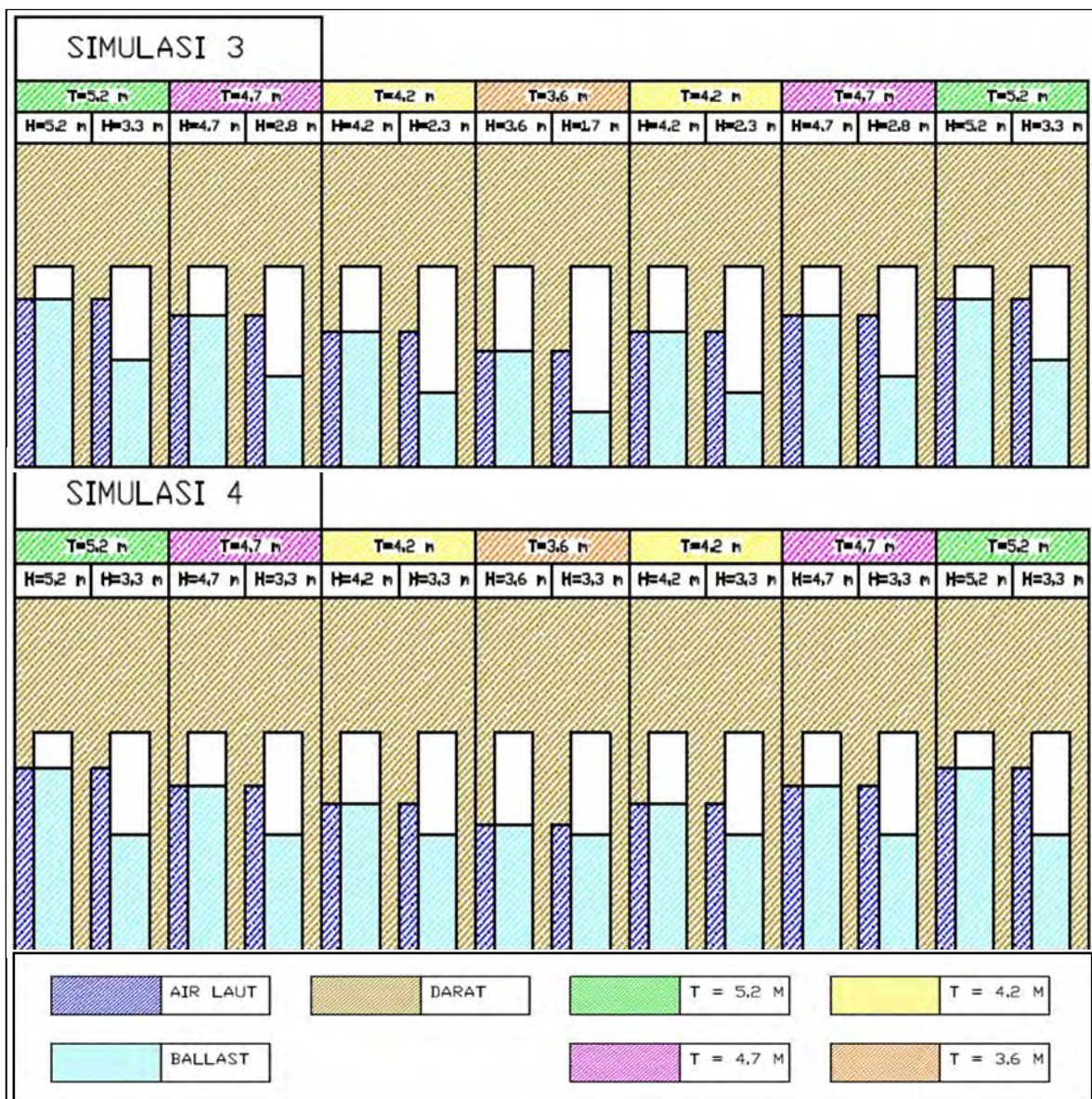
Simulasi pembebanan untuk kondisi normal dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. 8 Simulasi pembebanan kondisi percobaan untuk simulasi S3 dan S4

Simulasi 3	Simulasi 4	Durasi Waktu	
		(Jam)	
T1H1	T1H1	00:00	02:00
T1H3	T1H2	02:00	04:00
T2H1	T2H1	04:00	06:00
T2H3	T2H2	06:00	08:00
T3H1	T3H1	08:00	10:00
T3H3	T3H2	10:00	12:00

T4H1	T4H1	12:00	14:00
T4H3	T4H2	14:00	16:00
T3H1	T3H1	16:00	18:00
T3H3	T3H2	18:00	20:00
T2H1	T2H1	20:00	22:00
T2H3	T2H2	22:00	00:00
T1H1	T1H1	00:00	02:00
T1H3	T1H2	02:00	04:00
T2H1	T2H1	04:00	06:00

Dari tabel diatas, ilustrasi kejadian pada simulasi percobaan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. 4 Simulasi pembebanan kondisi percobaan untuk simulasi S3 dan S4

3.8 Perhitungan Beban Kerja

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, beban kerja pada pintu dok berupa tekanan hidrostatik dapat diidentifikasi sebagai beban kelelahan (*fatigue loading*) frekuensi sangat rendah (statis). Untuk melakukan proses analisa kelelahan akibat tekanan hidrostatik maka perhitungan tekanan hidrostatik dilakukan untuk efek yang disebabkan oleh ketinggian air laut dan muatan tangki *ballast*. Perhitungan dari beban akibat tekanan hidrostatik untuk tinggi pasang air laut adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 9 Perhitungan beban hidrostatik pada berbagai kondisi pasang surut ($h=T$)

Sarat (m)	Lokasi dari Base Line (m)	h (m)	P [kN/m ²]
T = 5.20	5.2	0.0	0.000
	3.3	1.9	19.105
	0	5.2	52.287
T = 4.70	4.7	0.0	0.000
	3.3	1.4	14.077
	2.8	1.9	19.105
	0	4.7	47.260
T = 4.20	4.2	0.0	0.000
	3.3	0.9	9.050
	2.3	1.9	19.105
	0	4.2	42.232
T = 3.60	3.6	0.0	0.000
	3.3	0.3	3.017
	1.7	1.9	19.105
	0	3.6	36.199

Perhitungan dari beban akibat tekanan hidrostatik untuk tinggi tangki *ballast* adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 10 Perhitungan beban hidrostatik pada berbagai kondisi muatan tangki ($h=H$)

Tinggi tangki (m)	Lokasi dari Base Line (m)	h(m)	P [kN/m ²]
H = 5.20	5.2	0.0	0.000
	0	5.2	52.287
H = 4.70	4.7	0.0	0.000
	0	4.7	47.260
H = 4.20	4.2	0.0	0.000
	0	4.2	42.232
H = 3.60	3.6	0.0	0.000
	0	3.6	36.199
H = 3.30	3.3	0.0	0.000
	0	3.3	33.182

H = 2.80	2.8	0.0	0.000
	0	2.8	28.155
H = 2.30	2.3	0.0	0.000
	0	2.3	23.127
H = 1.70	1.7	0.0	0.000
	0	1.7	17.094

Setelah dilakukan langkah perhitungan tekanan hidrostatik maka nilai antara tekanan hidrostatik akibat sisi luar dan muatan tangki *ballast* dapat diakumulasikan sesuai dengan kasus pembebanan yang telah diambil.

3.9 Kondisi Batas

3.9.1 Kondisi Batas Pintu Dok dan Dok

Selama masa pengoperasian dari dok, pintu dok diikatkan terhadap dok dengan posisi *bracket* pada tiga sisi tumpuan pintu dok dihubungkan terhadap struktur dari dok. Hubungan antara pintu dok dan dok dapat dijabarkan sebagai kondisi batasan yang dijelaskan sebagai berikut :

Tabel 3. 11 Kondisi batasan pada tumpuan pintu dok

Lokasi	Translasi	Rotasi
Vertikal (Y)	$dx = 0$	$\Phi_x = 0$
	$dy \neq 0$	$\Phi_y \neq 0$
	$dz \neq 0$	$\Phi_z = 0$
Horizontal (Z)	$dx = 0$	$\Phi_x = 0$
	$dy = 0$	$\Phi_y = 0$
	$dz \neq 0$	$\Phi_z \neq 0$

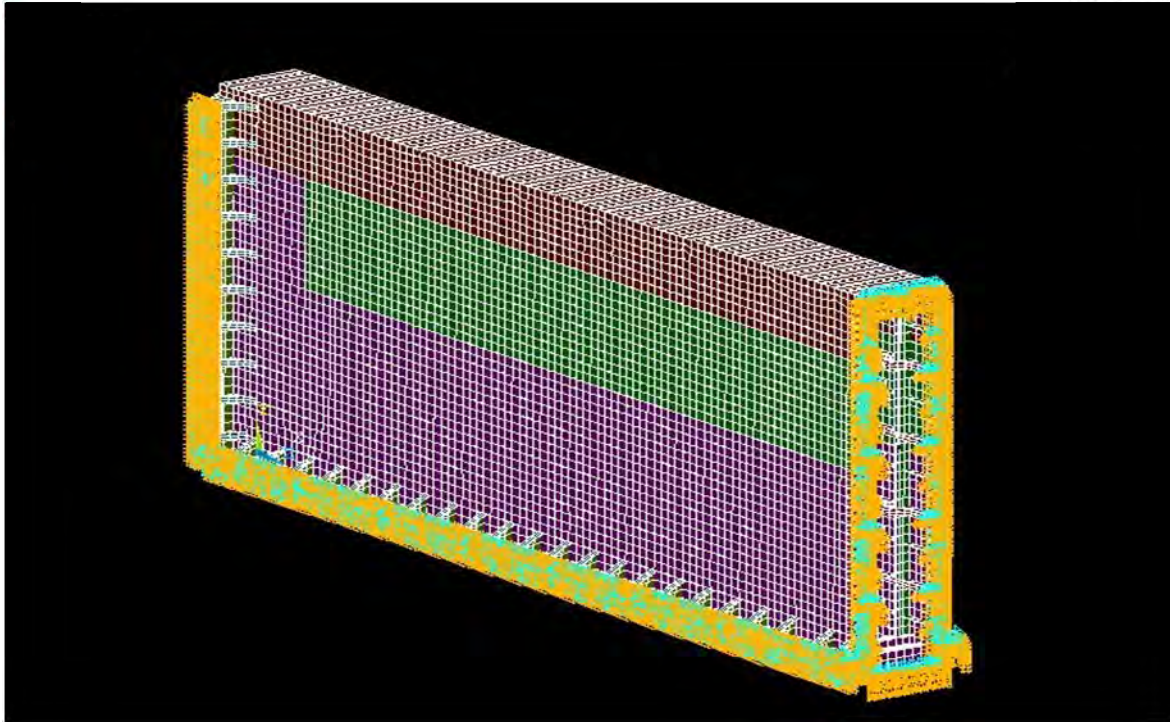
3.9.2 Kondisi Batas Untuk Struktur Simetri

Struktur pintu dok pada objek penelitian ini merupakan struktur simetri. Selama masa pengoperasiannya, beban hidrostatik yang diaplikasikan terhadap pintu dok memiliki nilai sama yang dapat diaplikasikan terhadap setengah struktur pintu dok. Oleh karena itu, dalam analisa metode elemen, pintu dok dimodelkan dengan struktur simetri. Kondisi batas yang berlaku pada struktur pintu dok dilakukan berdasarkan kondisi simetri dari struktur terhadap sumbu z. Tabel berikut menunjukkan derajat kebebasan pada struktur simetri ini :

Tabel 3. 12 Kondisi batasan pada penampang simetri pintu dok

Sumbu	Translasional	Rotasional
X	$d \neq 0$	$\Phi = 0$
Y	$d \neq 0$	$\Phi = 0$
Z	$d = 0$	$\Phi \neq 0$

Kondisi batas berupa tumpuan pintu dok terhadap dok dan kondisi simetri ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut ini :



Gambar 3. 5 Kondisi batas pada permodelan pintu dok

3.10 Pemodelan Pintu Dok

3.10.1 *Preprocessing*

Pada tahap *preprocessing*, pengoperasian yang digunakan untuk membangun model pintu dok adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan tipe elemen

Seperti yang sudah dijelaskan pada subbab 2.8.2 maka digunakan elemen sebagai berikut :

- a) Tipe *shell element* dengan *mid-side node*, digunakan pada lajur pelat dan *web* dari profil penumpu dan penegar.
- b) Tipe *beam element* dengan *mid-side node*, digunakan pada pelat hadap.

2. Pemilihan sifat material

Material yang digunakan adalah jenis *linier isotropic* dengan modulus elastisitas (*young*) 200 GPa dan Rasio Poisson 0.26.

3. Pemilihan Penampang Melintang Pelat dan Profil

Pemilihan penampang pelat dan profil dilakukan berdasarkan variasi pengurangan tebal korosi pada lampiran **B1**. Secara umum pelat dan profil dipilih sebagai berikut :

- a) Untuk tipe *shell element*, maka dipilih tebal dengan variasi 8; 10; dan 12 mm sebelum dilakukan pengurangan korosi.
- b) Untuk tipe *beam element*, maka digunakan profil I dengan variasi 100 x 10 mm, 100 x 12 mm dan 100 x 15 mm sebelum dilakukan pengurangan korosi.

4. Pembuatan Model

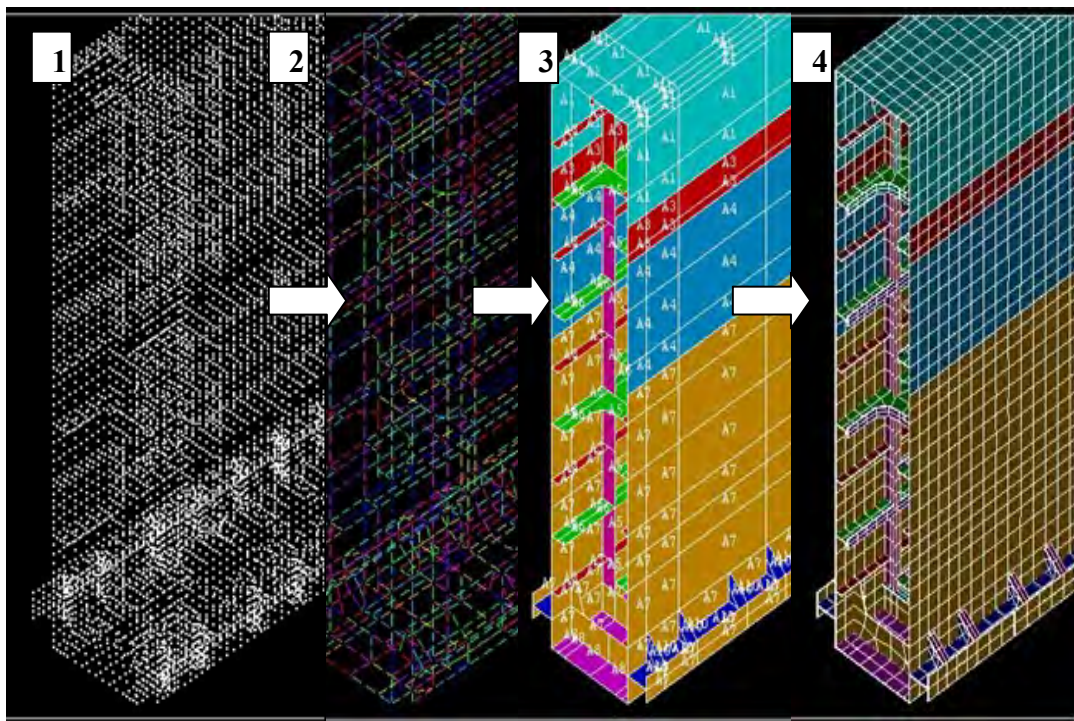
Model pintu dok dibangun menggunakan metode *solid modelling* dimana model dibangun dari orde berikut :

- Elemen poin (*keypoint*), ordo terendah dalam pemodelan struktur. Poin didefinisikan sebagai 1 node (lihat gambar 3.6 nomor 1).
- Elemen garis (*line*), ordo selanjutnya yang didefinisikan sebagai garis atau busur yang dihubungkan antara dua nodal sehingga membentuk elemen *beam* (lihat gambar 3.6 nomor 2).
- Elemen luas (*area*), ordo selanjutnya yang ditunjukkan dalam bentuk segitiga dan segiempat yang didefinisikan sebagai *shell element*. (lihat gambar 3.6 nomor 3).

Pemodelan dilakukan dari orde terendah (*keypoint*) yang kemudian tiap poin tersebut dihubungkan untuk membentuk order yang lebih tinggi untuk mendefinisikan elemen yang digunakan pada proses *meshing*. Proses ini diperlihatkan pada gambar 3.6.

5. Meshing

Meshing digunakan untuk menghasilkan elemen dan nodal dari model yang dibangun. Elemen dan nodal yang dihasilkan mewakili sifat dari tipe elemen, sifat material, dan bentuk pelat yang telah dilakukan pada tahap awal pemodelan. Hasil *meshing* dapat dilihat pada gambar 3.6 nomor 4 sebagai bagian akhir pembangunan model.

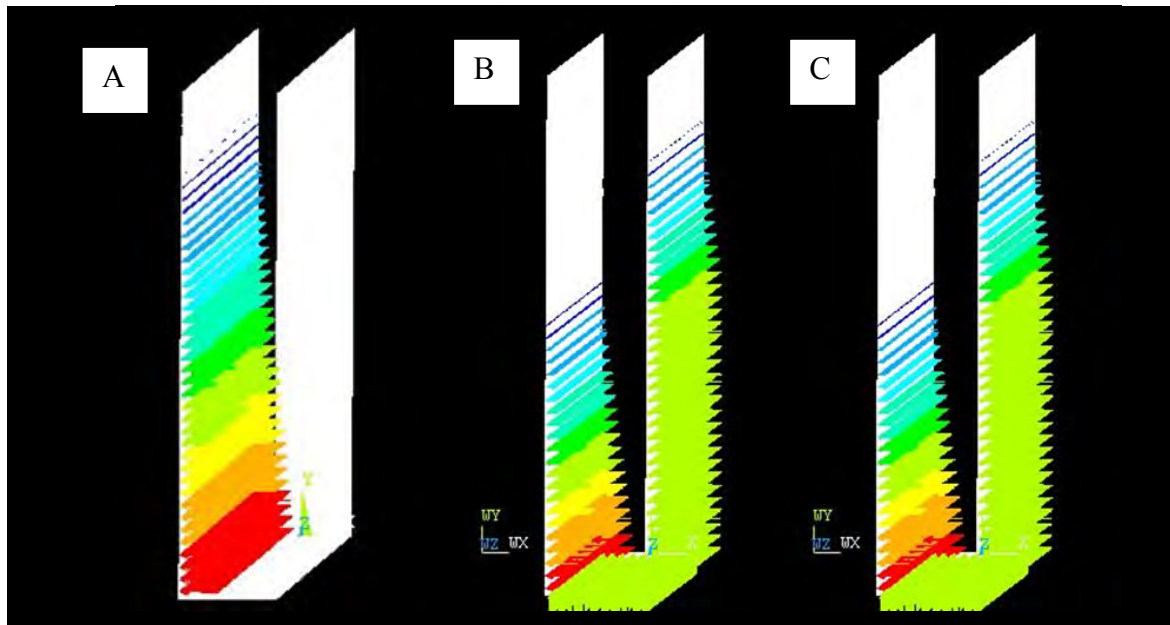


Gambar 3. 6 Proses pembuatan model hingga *meshing*

6. Beban Kerja

Pembebanan yang diaplikasikan terhadap model adalah sebagai berikut:

- a) *DOF BC* : memberikan batasan derajat kebebasan pada model
- b) *Symmetry BC* : memberikan kondisi batas pada struktur simetris
- c) *Surface Load* : memberikan beban uniform pada permukaan model



Gambar 3. 7 Pemberian *surface load* untuk variasi T1H1(a), T1H2(b), dan T1H3(c)

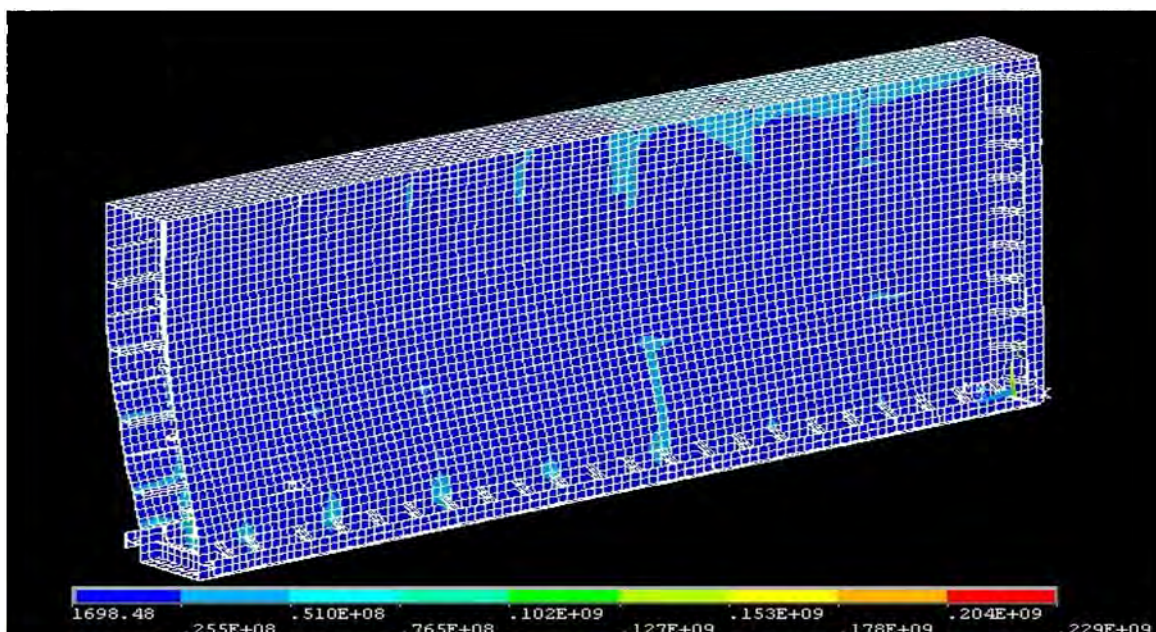
Dapat dilihat pada gambar 3.7 bahwa penggunaan *surface load* mampu mendefinisikan kemiringan tegangan pada permukaan kerja benda.

3.10.2 Solving

Solving digunakan untuk menyelesaikan analisa berdasarkan kondisi batasan dan beban kerja yang telah diaplikasikan pada model pintu dok.

3.10.3 Post Processing

Post Processing digunakan untuk menunjukkan hasil analisa pada model berupa tegangan. Hasil tegangan dikumpulkan untuk kemudian dilakukan analisa kelelahan. Hasil analisa berupa tegangan *von mises* dapat dilihat pada gambar berikut :



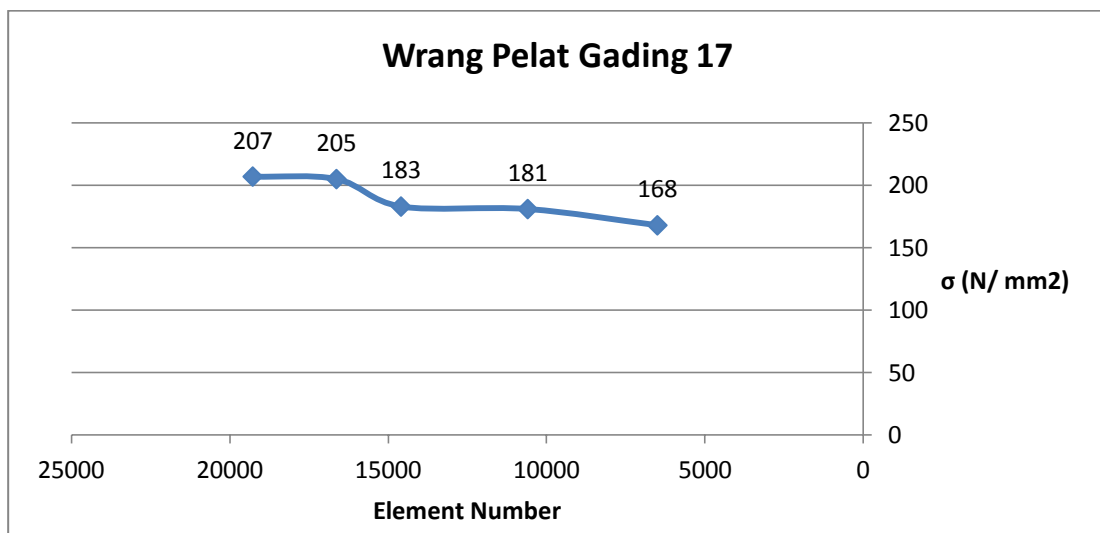
Gambar 3. 8 Contoh hasil analisa tegangan pada kondisi T1H1 kondisi pelat 100 %

3.10.4 Konvergensi

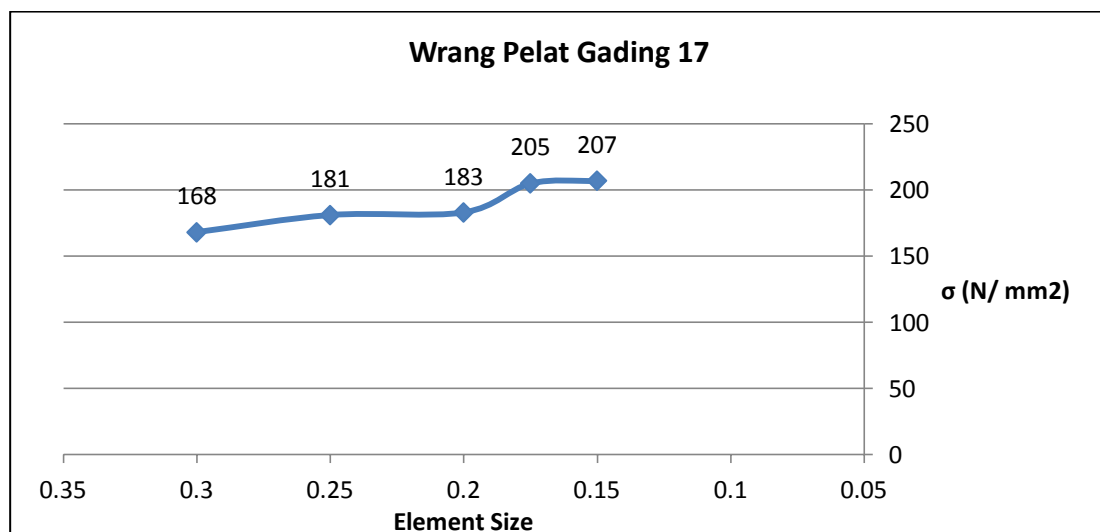
Berdasarkan hasil konvergensi yang dilakukan antara besar tegangan terhadap ukuran dan jumlah elemen maka diperoleh nilai sebagai berikut :

Tabel 3. 13 Hasil konvergensi ukuran dan jumlah *meshing* terhadap nilai tegangan

No	element number	6494	10589	14589	16628	19272
	element size	0.3	0.25	0.2	0.175	0.15
	lokasi	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
1	frame 17	205	201	201	202	204
2	bracket at 3.6 m	181	214	208	212	205
3	frame 20	203	205	200	202	202
4	solid floor 17	168	181	183	205	207



Gambar 3. 9 Kurva perbandingan jumlah elemen dan tegangan pada wrang pelat 17



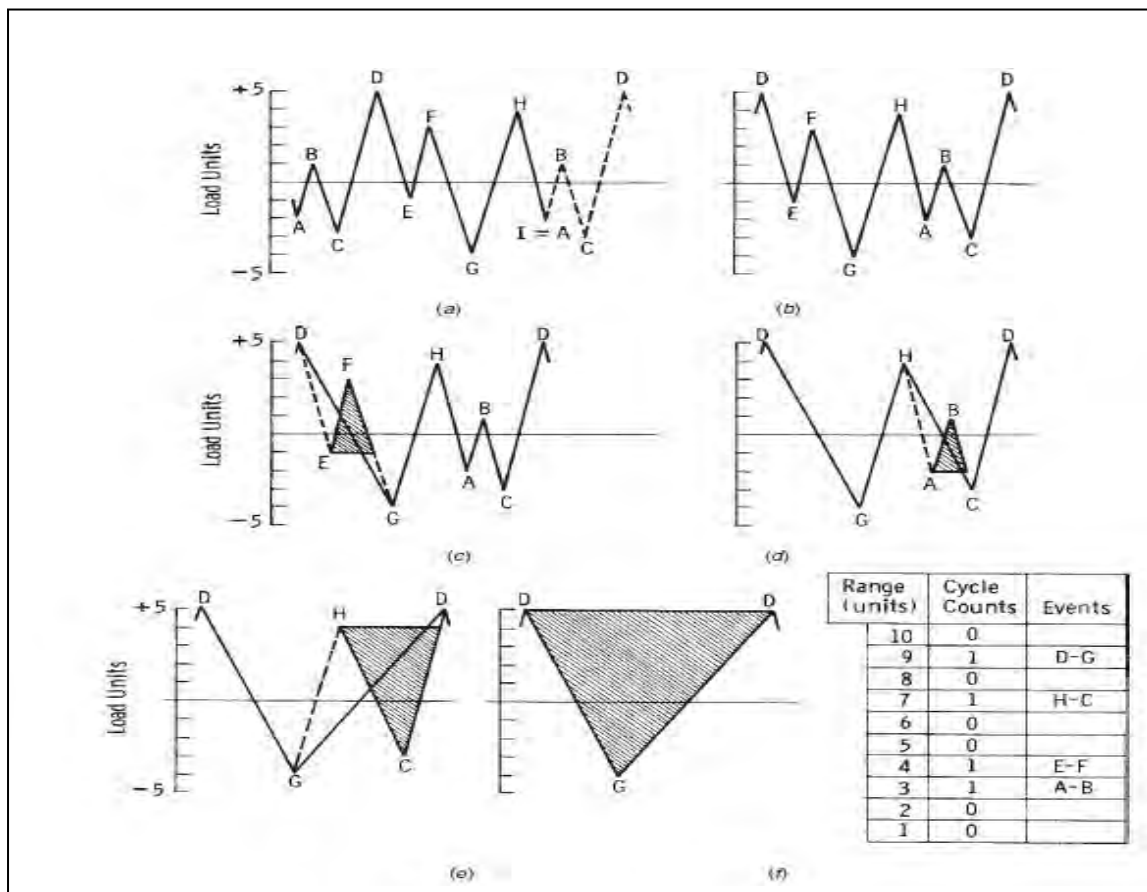
Gambar 3. 10 Kurva perbandingan ukuran elemen dan tegangan pada wrang pelat 17

Berdasarkan dari gambar grafik yang diperoleh dari hasil konvergensi diatas, maka proses perhitungan analisa tegangan pada *software finite element* dilakukan pada ukuran *meshing* 0.15 atau setara dengan 15 cm. Hasil konvergensi untuk tiga lokasi lainnya dapat dilihat pada **lampiran E2**.

3.11 Perhitungan Jumlah Siklus

Penentuan jumlah siklus dilakukan menggunakan Metode *Simplified Rainflow Counting* yang telah dijelaskan sebelumnya. Perhitungan siklus dilakukan berdasarkan parameter tegangan yang terjadi sesuai dengan fungsi waktu terjadinya tegangan tersebut. Untuk melakukan perhitungan jumlah siklus yang terjadi, maka diperoleh berdasarkan besar tegangan pada suatu titik pembebanan.

Untuk menentukan jumlah siklus yang terjadi berdasarkan Metode *Simplified Rainflow Counting* maka dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. 11 Proses perhitungan siklus dengan metode *simplified rainflow counting*

Secara matematis, untuk memperoleh jumlah siklus dan rentang tegangan dalam Metode *Simplified Rainflow Counting* maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Asumsikan **X** sebagai rentang yang diperhitungkan dan **Y** sebagai rentang sebelumnya yang berbatasan langsung dengan **X**.
2. Atur siklus agar nilai maksimum atau minimum yang terjadi diletakkan pada bagian awal deretan siklus.
3. Perhatikan nilai puncak atau lembah berikutnya, apabila tidak ada maka berhenti.

4. Jika terdapat kurang dari tiga titik , kembali ke langkah 3. Buat rentang **X** dan **Y** menggunakan 3 nilai puncak dan lembah terakhir yang belum dibuang.
5. Bandingkan nilai absolut dari **X** dan **Y** berikut :
 - a. Bila $X < Y$ maka kembali ke langkah 3
 - b. Bila $X \geq Y$ maka lanjutkan kelangkah 5
6. Hitung rentang **Y** sebagai satu siklus, buang puncak dan lembah dari rentang **Y** kemudian lanjutkan ke langkah 4.

Hasil dari perhitungan siklus dapat dilihat pada **Lampiran I hingga M** untuk berbagai simulasi pembebanan.

3.12 Perhitungan Kapasitas Kelelahan

3.12.1 Perhitungan Masa Operasi Pintu Dok

Graving Dock sebagai lokasi pembangunan kapal, umumnya memiliki lokasi yang berada di pinggir laut atau di tepi sungai. Berdasarkan regulasi BKI, posisi tersebut berada pada notasi **P**, yaitu rentang servis yang terbatas di perairan tenang, teluk, pelabuhan, atau perairan yang mirip dimana kondisi perairan dianggap tidak berat .

Seperti yang sudah diketahui sebelumnya bahwa pasang surut yang terjadi di sekitar pintu dok adalah pasang surut harian tunggal. Dengan umur desain sebesar 20 tahun maka terjadi 7300 kali pengulangan siklus yang sama. Pada kondisi dok kosong, resultan gaya yang diterima pintu dok bernilai jauh lebih sedikit dibandingkan pada kondisi kerja pintu dok. Selain itu pada galangan yang produktif, pintu dok diasumsikan lebih sering berada pada kondisi kerja, dibandingkan kondisi dok kosong. Oleh karena itu, analisa kelelahan pada tugas akhir ini dilakukan hanya pada kondisi pengoperasian dimana resultan dari tekanan hidrostatik memiliki efek tegangan yang jauh lebih besar.

Menggunakan asumsi yang diambil dari *CSR (Common Structural Rule) For Oil Tanker* untuk *cumulative damage long term distribution* dari *stress range* menurut *weibull*, untuk faktor f_0 , maka diasumsikan masa pengoperasian dari pintu dok adalah sebesar **0,85** untuk kondisi kapal (dalam hal ini pintu dok) yang menunjukkan koefisien dari faktor kapal ketika tidak berlayar seperti *repair*, *loading* dan *unloading*. Sehingga total kejadian yang dialami oleh setiap siklus adalah **6205** kali. Proses perhitungan dapat dilihat pada **lampiran I-1** .

3.12.2 Pemilihan Jenis Tegangan

Dari pembahasan mengenai jenis tegangan yang digunakan dalam menentukan kapasitas tegangan (subbab 2.9.4) dan pertimbangkan dalam memodelkan struktur tersebut dalam *software finite element* (subbab 2.7.1) maka digunakan tegangan *nominal* dalam analisa kelelahan pada tugas akhir kali ini. Beberapa pertimbangan utama penggunaan tegangan *nominal* ini adalah sebagai berikut :

- Keterbatasan dari kemampuan *software* elemen hingga untuk mendefinisikan ukuran elemen yang sangat kecil. Sebagai contoh, apabila tebal pelat sebesar 8 mm, maka harus digunakan elemen dengan ukuran 8 hingga 16 mm atau setara dengan 0.008 hingga 0.016, sedangkan pada penggunaan ukuran elemen 0.1, *software* elemen hingga mengalami *error*.

- Penggunaan *Stress Concentration Factor* (K_s) dari formula parametrik untuk pintu dok tidak ditentukan oleh Badan Klasifikasi Indonesia. Penggunaan K_s berdasarkan prosedur analisa kelelahan kapal sulit digunakan karena berpotensi memberikan hasil yang tidak relevan diakibatkan arah pembebanan pada stuktur kapal dan pintu dok yang berbeda.

3.12.3 Pemilihan Lokasi dan Desain S-N Diagram Untuk Analisa Kelelahan

Perhitungan S-N diagram untuk menentukan kapasitas kelelahan dari sambungan las telah dijelaskan sebelumnya pada bab 2. Berdasarkan hubungan pada S-N, maka penentuan lokasi analisa kelelahan dilakukan dengan cara membandingkan besar renggang tegangan pada kelompok kontruksi yang sama untuk dua kondisi berbeda yang diambil. Dalam menentukan detail kontruksi yang akan dijadikan objek analisa, maka lokasi yang ditentukan dihitung mengacu kepada detail kategori yang diberikan oleh Biro Klasifikasi Indonesia Vol. II “*Rules For Hull 2014*” Section 20 Table 20.3.

3.12.4 Perhitungan *Cumulative Damage Ratio*

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, penentuan kapasitas kelelahan dilakukan berdasarkan aturan *cumulative damage ratio* sehingga diperoleh rasio umur kelelahan terhadap umur desain. Setelah diperoleh jumlah siklus kejadian selama masa pengoperasian pintu berdasarkan penjelasan pada subbab 3.11, maka nilai *cumulative damage* ini dapat diperoleh. Perhitungan dilakukan berdasarkan aturan Palmgren-Miner yang diberikan pada Biro Klasifikasi Indonesia Vol. II *Rules For Hull 2014 Section 20* yang telah dijelaskan pada subbab 2.9.2.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengecekan Kekuatan Pintu Dok

Setelah pintu dok dimodelkan sesuai dengan variasi yang telah ditetapkan pada bab 3.7.1, maka dilakukan pengecekan terhadap kekuatan pintu dok. Pintu dok dianggap memiliki kekuatan yang memadai apabila nilai tegangan yang terjadi di tiap strukturnya tidak melebihi nilai dari *minimum nominal upper yield* (R_{EH}) untuk baja normal sebesar 235 N/mm^2 .

Pada tabel 4.1 sampai dengan tabel 4.4 ditunjukkan pengecekan kekuatan yang dilakukan untuk tiap variasi kondisi pembebanan (lihat tabel 3.5 dan tabel 3.6) untuk ketebalan pelat 100 %. Hasil dari pengecekan tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Pengecekan kekuatan pada T = 5.2 m tebal 100 %

T= 5.2	T1H1	T1H2	T1H3	status
	$\sigma \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\sigma \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\sigma \text{ (N/m}^2\text{)}$	
Flange pada frame 17	221	204	204	Accept
Bracket pada ketinggian 6 m	208	205	205	Accept
Flange pada frame 20	229	202	202	Accept
Solid Floor pada frame 17	188	207	207	Accept
Flange pada frame 14	227	191	191	Accept

Tabel 4. 2 Pengecekan kekuatan pada T = 4.7 m tebal 100 %

T = 4.7	T2H1	T2H2	T2H3	status
	$\sigma \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\sigma \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\sigma \text{ (N/m}^2\text{)}$	
Flange pada frame 17	169	151	156	Accept
Bracket pada ketinggian 6 m	139	135	137	Accept
Flange pada frame 20	173	146	153	Accept
Solid Floor pada frame 17	139	159	153	Accept
Flange pada frame 14	175	139	148	Accept

Tabel 4. 3 Pengecekan kekuatan pada T = 4.2 m tebal 100 %

T = 4.2	T3H1	T3H2	T3H3	status
	$\sigma \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\sigma \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\sigma \text{ (N/m}^2\text{)}$	
Flange pada frame 17	125	105	116	Accept
Bracket pada ketinggian 6 m	88.2	99.1	86.4	Accept
Flange pada frame 20	125	84	112	Accept
Solid Floor pada frame 17	97.1	119	107	Accept
Flange pada frame 14	129	95.2	112	Accept

Tabel 4. 4 Pengecekan kekuatan pada T = 3.6 m tebal 100 %

T = 3.6	T4H1	T4H2	T4H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Flange pada frame 17	80.3	59.8	77.2	Accept
Bracket pada ketinggian 6 m	46.2	41.7	45.6	Accept
Flange pada frame 20	78.9	55.2	74.3	Accept
Solid Floor pada frame 17	57.7	79.9	61	Accept
Flange pada frame 14	83.5	53.1	78	Accept

Dari pengecekan kekuatan yang dilakukan untuk kondisi tebal pelat 100 % tersebut maka dapat dilihat bahwa kondisi dimana terjadinya tegangan tertinggi berada pada posisi pasang tertinggi, yaitu 5.2 m.

Setelah diketahui bahwa nilai tegangan tertinggi dialami oleh struktur pada kondisi sarat 5.2 m, maka dilakukan pengecekan kekuatan pada tinggi pasang 5.2 m untuk variasi tebal pelat 97,5% ; 95% ; 92.5% dan 90 %. Hasil dari pengecekan kekuatan tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 5 Pengecekan kekuatan pada T = 5.2 m tebal 97.5 %

97.5 %	T1H1	T1H2	T1H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Flange pada frame 17	223	206	206	Accept
Bracket pada ketinggian 6 m	212	209	209	Accept
Flange pada frame 20	232	204	204	Accept
Solid Floor pada frame 17	193	212	212	Accept
Flange pada frame 14	229	193	193	Accept

Tabel 4. 6 Pengecekan kekuatan pada T = 5.2 m tebal 95 %

95 %	T1H1	T1H2	T1H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Flange pada frame 17	233	214	214	Accept
Bracket pada ketinggian 6 m	219	216	216	Accept
Flange pada frame 20	241	212	212	Reject
Solid Floor pada frame 17	200	219	219	Accept
Flange pada frame 14	239	201	201	Reject

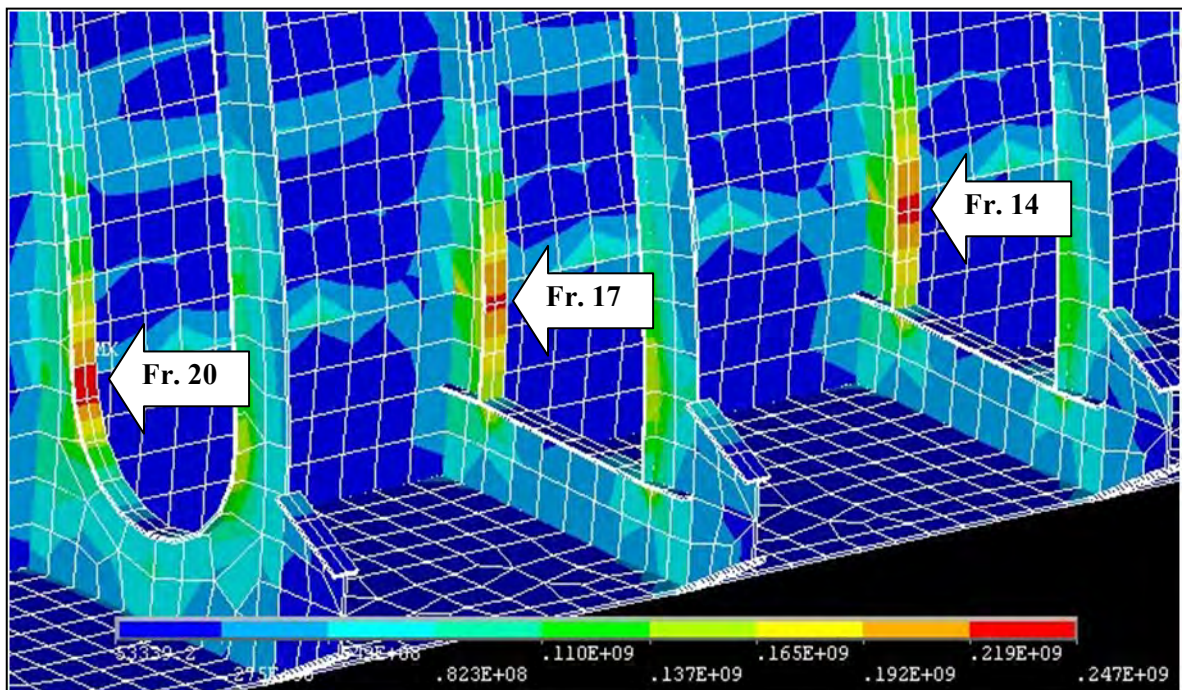
Tabel 4. 7 Pengecekan kekuatan pada T = 5.2 m tebal 92.5 %

92.5 %	T1H1	T1H2	T1H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Flange pada frame 17	239	220	220	Reject
Bracket pada ketinggian 6 m	225	222	222	Accept
Flange pada frame 20	247	217	217	Reject
Solid Floor pada frame 17	206	226	226	Accept
Flange pada frame 14	245	207	207	Reject

Tabel 4. 8 Pengecekan kekuatan pada T = 5.2 m tebal 90 %

90 %	T1H1	T1H2	T1H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Flange pada frame 17	245	227	227	Reject
Bracket pada ketinggian 6 m	231	228	228	Accept
Flange pada frame 20	253	223	223	Reject
Solid Floor pada frame 17	212	234	234	Accept
Flange pada frame 14	252	213	213	Reject

Seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.6 sampai dengan tabel 4.8, untuk kondisi pelat 95 % hingga 90 %, terdapat komponen struktur dengan tegangan melewati batas *minimum nominal upper yield* (R_{EH}). Lokasi ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 4. 1 Hasil tegangan pada gading 20, 17 dan 14 untuk kondisi 92.5%

Lokasi dimana tegangan terjadi melewati batas izin tegangan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Flens pada frame 20 dan 14 dimulai pada keadaan 95 % nilai tegangan yang terjadi melebihi batas *minimum nominal upper yield* (R_{EH}).
- Flens pada frame 17 dimulai pada keadaan 92.5 % nilai tegangan yang terjadi melebihi batas *minimum nominal upper yield* (R_{EH}).

Dapat dilihat bahwa seluruh komponen struktur dengan besar tegangan melebihi *minimum nominal upper yield* (R_{EH}) selalu terjadi pada kondisi normal dari pintu dok, dimana sarat pintu dok dan muatan tangki dari pintu dok memiliki ketinggian yang sama. Selanjutnya analisa kelelahan akan dilakukan untuk kondisi di mana seluruh struktur pintu dok masih dibawah batas *minimum nominal upper yield* (R_{EH}), yaitu pada kondisi **100 %** dan **97.5 %**.

4.2 Penentuan Lokasi Kelelahan

Pemeriksaan lokasi kelelahan dilakukan berdasarkan *detail category* yang diberikan oleh *BKI Vol II Rules For Hull Section 20 Table 20.3. Detail Catagory* menunjukkan detail kontruksi dimana *fatigue crack* memiliki potensi berkembang dan kelompok kelas yang tepat pada struktur sambungan las teresebut.

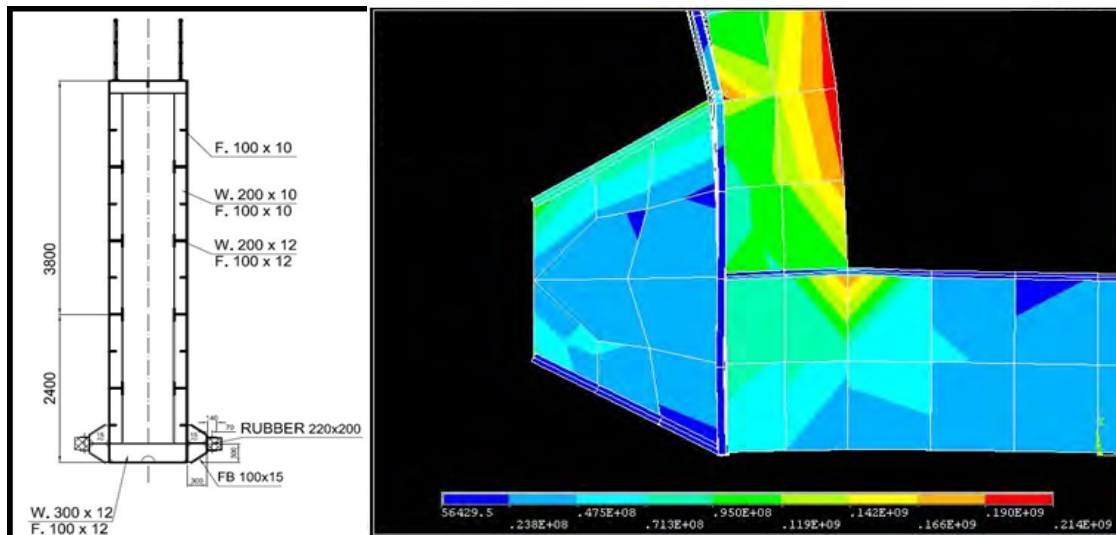
4.2.1 Lokasi Analisa Kelelahan Pada Gading Besar (M1)

Lokasi yang dipilih pada gading besar diperoleh berdasarkan pengecekan renggang tegangan yang terjadi antara satu gading besar dengan gading besar lainnya untuk selisih antara kondisi T1H1 dan T1H2.

Tabel 4. 9 Pengecekan renggang tegangan terbesar untuk lokasi M1

	Lokasi tinjauan (nomor frame)	T1H1	T1H2	range	max
		σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)
Lokasi 1 (M1)	22	181	157	24	45
	20	132	109	23	
	17	210	175	35	
	14	214	169	45	
	11	131	109	22	
	8	188	144	44	
	5	148	114	34	
	3	28.2	15.3	12.9	

Berdasarkan pengecekan renggang tegangan tersebut, maka untuk lokasi analisa kelelahan pada pelintang dipilih **gading besar nomor 14** yang selanjutnya akan dinotasikan sebagai **M1**. Lokasi tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4. 2 Lokasi tinjauan fatigue M1 pada gading 14

Berdasarkan hasil peninjauan lokasi analisa kelelahan untuk lokasi **M1**, maka dipilih *detail category* dengan kelas C2 yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :

C. Non-load-carrying attachments				
Type No.	Joint configuration showing mode of fatigue cracking and stress σ considered	Description of joint	Detail category $\Delta\sigma_R$	
			Steel	Al
C1		Longitudinal gusset welded on beam flange, bulb or plate : $l \leq 50 \text{ mm}$ $50 \text{ mm} < l \leq 150 \text{ mm}$ $150 \text{ mm} < l \leq 300 \text{ mm}$ $l > 300 \text{ mm}$	80 71 63 56	28 25 20 18
		For $t_2 \leq 0,5 t_1$, $\Delta\sigma_R$ may be increased by one category, but not over 80 (steel) or 28 (Al); not valid for bulb profiles. When welding close to edges of plates or profiles (distance less than 10 mm) and/or the structural element is subjected to bending, $\Delta\sigma_R$ is to be decreased by one category.		
C2		Gusset with smooth transition (sniped end or radius) welded on beam flange, bulb or plate; $c \leq 2t_2$, max 25 mm $r \geq 0,5 h$ $r < 0,5 h$ or $\phi \leq 20^\circ$ $\phi > 20^\circ$ see joint type C1 For $t_2 \leq 0,5 t_1$, $\Delta\sigma_R$ may be increased by one category; not valid for bulb profiles. When welding close to edges of plates or profiles (distance less than 10 mm), $\Delta\sigma_R$ is to be decreased by one category.	71 63	25 20

Gambar 4. 3 *Detail Category* untuk lokasi M1

Dikarenakan ukuran *bracket* memiliki nilai $\phi > 20^\circ$ maka *detail category* diturunkan menjadi C1 dengan $\Delta\sigma_R$ sebesar 63 N/mm² sebelum dilakukan koreksi.

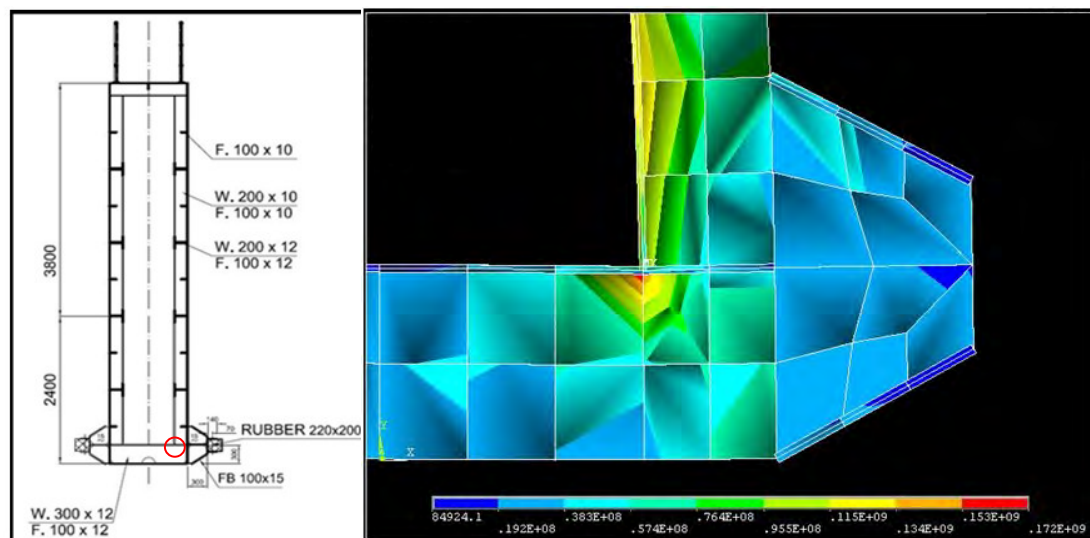
4.2.2 Lokasi Analisa Kelelahan Pada Wrang Pelat (M2)

Lokasi yang dipilih pada wrang pelat diperoleh berdasarkan pengecekan renggang tengangan yang terjadi antara satu wrang pelat dengan wrang pelat lainnya untuk selisih antara kondisi T1H1 dan T1H2.

Tabel 4. 10 Pengecekan renggang tegangan terbesar untuk lokasi M2

	Lokasi tinjauan (nomor frame)	T1H1	T1H2	range	max
		σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)
Lokasi 2 (M2)	22	173	187	14	33
	17	188	207	19	
	14	171	204	33	
	8	132	160	28	
	5	89.1	114	24.9	
	2	11.9	22.5	10.6	

Berdasarkan pengecekan renggang tegangan tersebut, maka untuk lokasi analisa kelelahan pada wrang pelat dipilih **wrang pelat nomor 14** yang selanjutnya akan dinotasikan sebagai **M2**. Lokasi tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4. 4 Lokasi tinjauan *fatigue* M2 pada wrang pelat 14

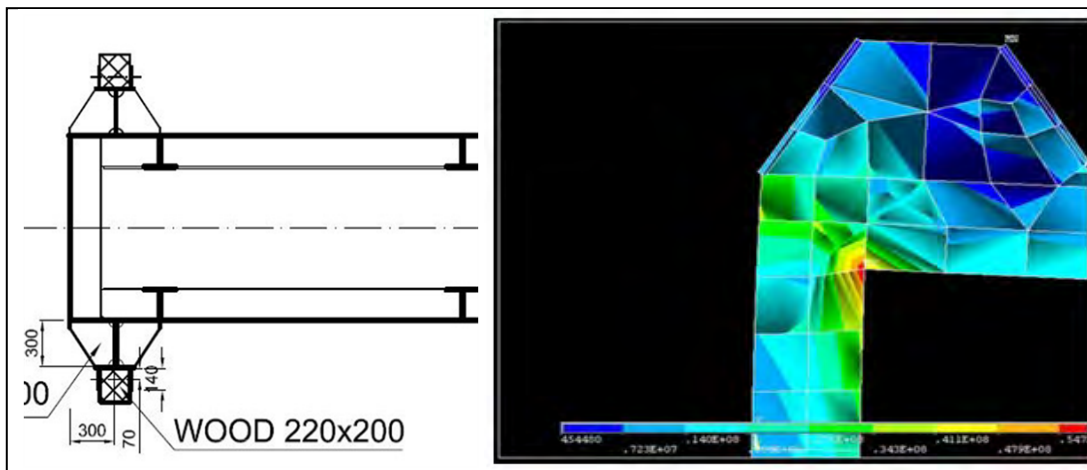
4.2.3 Lokasi Analisa Kelelahan Pada Senta Sisi (M3)

Lokasi yang dipilih pada senta sisi diperoleh berdasarkan pengecekan renggang tengangan yang terjadi antara satu senta sisi dengan senta sisi lainnya untuk selisih antara kondisi T1H1 dan T1H2.

Tabel 4. 11 Pengecekan renggang tegangan terbesar untuk lokasi M3

Lokasi 3 (M3)	Lokasi tinjauan (tinggi senta)	T1H1 σ (N/m ²)	T1H2 σ (N/m ²)	range σ (N/m ²)	max σ (N/m ²)
	3.6 m	61.4	94.6	33.2	33.2
	1.2 m	15.8	40.7	24.9	

Berdasarkan pengecekan renggang tegangan tersebut, maka untuk lokasi analisa kelelahan pada senta sisi dipilih **senta sisi untuk ketinggian 3.6 m** yang selanjutnya akan dinotasikan sebagai **M3**. Lokasi tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4. 5 Lokasi tinjauan *fatigue* M3 pada senta 3.6 meter

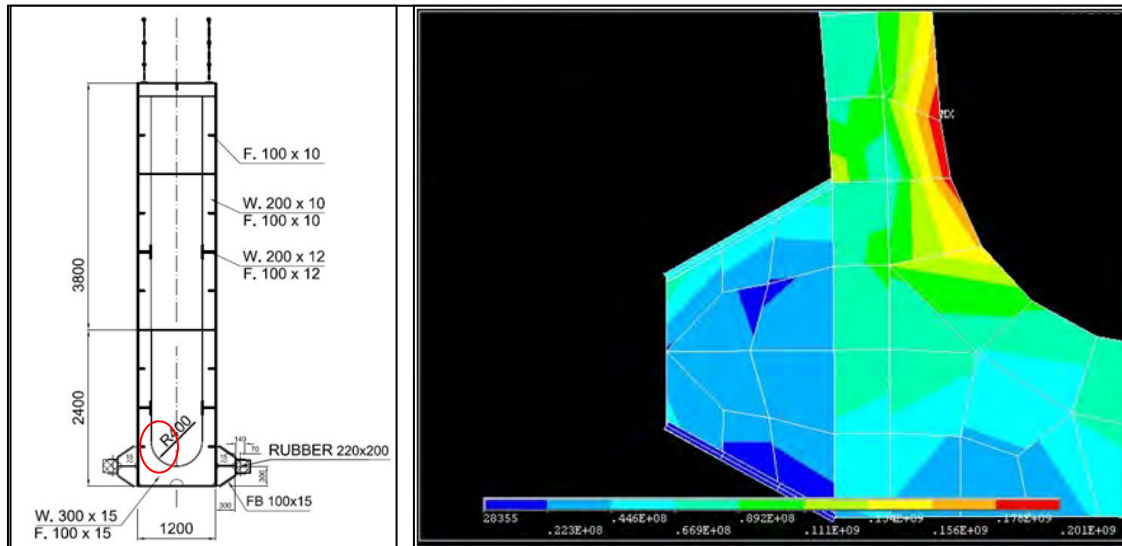
4.2.4 Lokasi Analisa Kelelahan Pada Gading Besar *Rounded* (M4)

Lokasi yang dipilih pada gading besar diperoleh berdasarkan pengecekan renggang tegangan yang terjadi antara satu gading besar dengan gading besar lainnya untuk selisih antara kondisi T1H1 dan T1H2.

Tabel 4. 12 Pengecekan renggang tegangan terbesar untuk lokasi M4

Lokasi 4 (M4)	Lokasi tinjauan (nomor frame)	T1H1 σ (N/m ²)	T1H2 σ (N/m ²)	range σ (N/m ²)	Max σ (N/m ²)
	20	200	174	26	26
	11	178	164	14	

Berdasarkan pengecekan renggang tegangan tersebut, maka untuk lokasi analisa kelelahan pada gading besar *rounded* dipilih **gading besar rounded nomor 20** yang selanjutnya akan dinotasikan sebagai **M4**. Lokasi tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4. 6 Lokasi tinjauan *fatigue* M4 pada gading 20

Berdasarkan hasil peninjauan lokasi analisa kelelahan untuk lokasi **M2**, **M3** dan **M4**, maka dipilih *detail category* dengan kelas D2 yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :

D. Cruciform joints and T-joints				
Type No	Joint configuration showing mode of fatigue cracking and stress σ considered	Description of joint	Detail category $\Delta\sigma_R$	
			Steel	Al
D1		Cruciform or tee-joint K-butt welds with full penetration or with defined incomplete root penetration according to Section 19, Fig. 19.9. cruciform joint tee-joint	71 80	25 28
D2		Cruciform or tee-joint with transverse fillet weld, toe failure (root failure particularly for throat thickness $a < 0.7 \cdot t$, see joint type D3) cruciform joint tee-joint	63 71	22 25

Gambar 4. 7 *Detail Category* untuk lokasi M2, M3, dan M4

Dikarenakan ukuran lokasi peninjauan kelelahan M2, M3, dan M4 merupakan profil *T-joint* dengan sambungan las profil *fillet* maka *detail category* dipilih untuk $\Delta\sigma_R$ sebesar 71 N/mm² sebelum dilakukan perhitungan koreksi.

4.3. Rekapitulasi Nilai Hasil Tegangan

Setelah dilakukan pengecekan nilai tegangan pada lokasi-lokasi yang dijadikan objek analisa kelelahan, maka diperoleh hasil rekapitulasi tegangan berdasarkan variasi beban kerja yang diberikan kepada pintu dok untuk tiap kondisi pembebanan. Besar nilai tiap kondisi pembebanan tersebut dapat dilihat sebagai berikut :

a) Rekapitulasi Nilai Tegangan Pada Kondisi Tebal Pelat 100 %

Tabel 4. 13 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 100 % untuk T = 5.2 meter

100%	T1H1	T1H2	T1H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	214	169	169
M2	171	204	204
M3	61.4	94.6	94.6
M4	200	174	174

Tabel 4. 14 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 100 % untuk T = 4.7 meter

100%	T2H1	T2H2	T2H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	173	139	127
M2	127	151	160
M3	41.6	68.2	70
M4	152	133	126

Tabel 4. 15 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 100 % untuk T = 4.2 meter

100%	T3H1	T3H2	T3H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	135	113	88.2
M2	88.7	105	122
M3	32.5	44.3	46.6
M4	111	98.5	86

Tabel 4. 16 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 100 % untuk T = 3.6 meter

100%	T4H1	T4H2	T4H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	94.6	87.2	49.3
M2	52.3	57.5	83.1
M3	19.3	21.8	24.1
M4	70.1	66.3	47.9

b) Rekapitulasi Nilai Tegangan Pada Kondisi Tebal Pelat 97.5 %

Tabel 4. 17 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 97.5 % untuk T = 5.2 meter

97.50%	T1H1	T1H2	T1H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	220	175	175
M2	176	210	210
M3	62.3	96.8	96.8
M4	202	177	177

Tabel 4. 18 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 97.5 % untuk T = 4.7 meter

97.50%	T2H1	T2H2	T2H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	178	144	131
M2	130	156	165
M3	47.4	70.2	72.1
M4	156	136	130

Tabel 4. 19 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 97.5 % untuk T = 4.2 meter

97.50%	T3H1	T3H2	T3H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	139	117	90.8
M2	91.3	108	125
M3	33.5	45.6	48
M4	113	101	88.3

Tabel 4. 20 Rekapitulasi nilai tegangan pada kondisi 97.5 % untuk T = 3.6 meter

97.50%	T4H1	T4H2	T4H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	97.4	89.7	50.7
M2	54.2	59.6	85.5
M3	19.9	22.5	24.8
M4	72.2	68.1	49.2

Setelah dilakukan rekapitulasi untuk nilai tegangan pada tiap variasi beban kerja maka dilakukan simulasi kondisi pembebanan berdasarkan ketentuan pada subbab 3.7.2.

4.4 Simulasi Pembebanan Pada Kondisi Normal

Berdasarkan simulasi kondisi pembebanan pada subbab 3.7.2, maka pada kondisi normal, pintu dok mengalami simulasi pembebanan yang dinotasikan sebagai S1 dan S2

4.4.1 Simulasi Pembebanan Kondisi Normal Untuk Tebal pelat 100 %

Pada tebal pelat 100 %, berdasarkan simulasi kondisi normal untuk **S1**, dimana tinggi muatan tangki *ballast* mengikuti tinggi pasang surut air laut, maka dilakukan analisa kelelahan berdasarkan tabel berikut ini :

Tabel 4. 21 Simulasi kondisi normal S1 (tebal pelat 100 %)

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam ke jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	4	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T2H1	4	8	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T3H1	8	12	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T4H1	12	16	3.6	3.6	94.6	52.3	19.3	70.1

T3H1	16	20	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T2H1	20	0	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T1H1	0	4	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T2H1	4	8	4.7	4.7	173	127	41.6	152

Pada tebal pelat 100 %, berdasarkan simulasi kondisi normal untuk **S2**, dimana tinggi muatan tangki *ballast* mengikuti tinggi tangki minimum untuk sarat tertinggi (T = 5,2 m; H = 3.3 m), maka dilakukan analisa kelelahan berdasarkan tabel berikut ini :

Tabel 4. 22 Simulasi kondisi normal S2 (tebal pelat 100 %)

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam ke jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H2	0	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H2	4	8	4.7	3.3	139	151	68.2	133
T3H2	8	12	4.2	3.3	113	105	44.3	98.5
T4H2	12	16	3.6	3.3	87.2	57.5	21.8	66.3
T3H2	16	20	4.2	3.3	113	105	44.3	98.5
T2H2	20	0	4.7	3.3	139	151	68.2	133
T1H2	0	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H2	4	8	4.7	3.3	139	151	68.2	133

4.4.2 Simulasi Pembebanan Kondisi Normal Untuk Tebal pelat 97.5 %

Pada tebal pelat 97.5 %, berdasarkan simulasi kondisi normal **S1** dimana tinggi muatan tangki *ballast* mengikuti tinggi pasang surut air laut, maka dilakukan analisa kelelahan berdasarkan tabel berikut ini :

Tabel 4. 23 Simulasi kondisi normal S1 (tebal pelat 97.5 %)

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam ke jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T3H1	8	10	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T4H1	12	14	3.6	3.6	97.4	54.2	19.9	72.2
T3H1	16	18	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T2H1	20	22	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156

Pada tebal pelat 97.5 %, berdasarkan simulasi kondisi normal untuk **S2**, dimana tinggi muatan tangki *ballast* mengikuti tinggi tangki minimum untuk sarat tertinggi (T = 5,2 m; H = 3.3 m), maka dilakukan analisa kelelahan berdasarkan tabel berikut ini :

Tabel 4. 24 Simulasi kondisi normal S2 (tebal pelat 97.5 %)

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam ke jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H2	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H2	6	8	4.7	3.3	144	156	70.2	136
T3H2	10	12	4.2	3.3	117	108	45.6	101
T4H2	14	16	3.6	3.3	89.7	59.6	22.5	68.1
T3H2	18	20	4.2	3.3	117	108	45.6	101
T2H2	22	0	4.7	3.3	144	156	70.2	136
T1H2	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H2	6	8	4.7	3.3	144	156	70.2	136

4.5 Simulasi Pembebanan Pada Kondisi Percobaan

Berdasarkan simulasi kondisi pembebanan pada subbab 3.7.2, maka untuk kondisi percobaan, pintu dok mengalami keadaan yang dinotasikan sebagai S3 dan S4.

4.5.1 Simulasi Pembebanan Kondisi Percobaan Untuk Tebal Pelat 100 %

Pada tebal pelat 100 %, berdasarkan simulasi kondisi percobaan untuk **S3**, dimana tinggi muatan tangki *ballast* mula-mula sama dengan tinggi pasang yang terjadi, kemudian dikurangi mencapai ketinggian minimum yang dibutuhkan pada pasang tersebut, dan berulang secara periodikal, maka dilakukan analisa kelelahan berdasarkan tabel berikut :

Tabel 4. 25 Simulasi kondisi percobaan S3 (tebal pelat 100 %)

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam ke jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	2	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T1H3	2	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H1	4	6	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T2H3	6	8	4.7	2.8	127	160	70	126
T3H1	8	10	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T3H3	10	12	4.2	2.3	88.2	122	46.6	86
T4H1	12	14	3.6	3.6	94.6	52.3	19.3	70.1
T4H3	14	16	3.6	1.7	49.3	83.1	24.1	47.9
T3H1	16	18	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T3H3	18	20	4.2	2.3	88.2	122	46.6	86
T2H1	20	22	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T2H3	22	0	4.7	2.8	127	160	70	126
T1H1	0	2	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T1H3	2	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H1	4	6	4.7	4.7	173	127	41.6	152

Pada tebal pelat 100 %, berdasarkan simulasi kondisi percobaan **S4** dimana tinggi muatan tangki *ballast* mula-mula sama dengan tinggi pasang yang terjadi, kemudian dikurangi mencapai ketinggian minimum yang dibutuhkan pada pasang tertinggi (T = 5,2 m; H = 3.3 m), dan berulang secara periodikal, maka dilakukan analisa kelelahan berdasarkan tabel berikut ini :

Tabel 4. 26 Simulasi kondisi percobaan S4 (tebal pelat 100 %)

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam ke jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	2	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T1H2	2	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H1	4	6	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T2H2	6	8	4.7	2.8	139	151	68.2	133
T3H1	8	10	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T3H2	10	12	4.2	2.3	113	105	44.3	98.5
T4H1	12	14	3.6	3.6	94.6	52.3	19.3	70.1
T4H2	14	16	3.6	1.7	87.2	57.5	21.8	66.3
T3H1	16	18	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T3H2	18	20	4.2	2.3	113	105	44.3	98.5
T2H1	20	22	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T2H2	22	0	4.7	2.8	139	151	68.2	133
T1H1	0	2	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T1H2	2	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H1	4	6	4.7	4.7	173	127	41.6	152

4.5.2 Simulasi Pembebanan Kondisi Percobaan Untuk Tebal Pelat 97.5 %

Pada tebal pelat 97.5 %, berdasarkan simulasi kondisi percobaan untuk **S3** dimana tinggi muatan tangki *ballast* mula-mula sama dengan tinggi pasang yang terjadi, kemudian dikurangi mencapai ketinggian minimum yang dibutuhkan pada pasang tersebut, dan berulang secara periodikal, maka dilakukan analisa kelelahan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 4. 27 Simulasi kondisi percobaan S3 (tebal pelat 97.5 %)

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam ke jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T1H2	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T2H2	6	8	4.7	2.8	144	156	70.2	136
T3H1	8	10	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T3H2	10	12	4.2	2.3	117	108	45.6	101
T4H1	12	14	3.6	3.6	97.4	54.2	19.9	72.2
T4H2	14	16	3.6	1.7	89.7	59.6	22.5	68.1

T3H1	16	18	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T3H2	18	20	4.2	2.3	117	108	45.6	101
T2H1	20	22	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T2H2	22	0	4.7	2.8	144	156	70.2	136
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T1H2	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156

Pada tebal pelat 97.5 %, berdasarkan simulasi kondisi percobaan untuk **S4** dimana tinggi muatan tangki *ballast* mula-mula sama dengan tinggi pasang yang terjadi, kemudian dikurangi mencapai ketinggian minimum yang dibutuhkan pada pasang tertinggi (T = 5,2 m; H = 3.3 m) dan berulang secara periodikal, maka dilakukan analisa kelelahan berdasarkan tabel berikut :

Tabel 4. 28 Simulasi kondisi percobaan S4 (tebal pelat 97.5 %)

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam ke jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T1H2	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T2H2	6	8	4.7	2.8	144	156	70.2	136
T3H1	8	10	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T3H2	10	12	4.2	2.3	117	108	45.6	101
T4H1	12	14	3.6	3.6	97.4	54.2	19.9	72.2
T4H2	14	16	3.6	1.7	89.7	59.6	22.5	68.1
T3H1	16	18	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T3H2	18	20	4.2	2.3	117	108	45.6	101
T2H1	20	22	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T2H2	22	0	4.7	2.8	144	156	70.2	136
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T1H2	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156

4.6 Rekapitulasi Pehitungan *Cumulative Damage*

4.6.1 Kondisi Normal

Berdasarkan perhitungan kondisi tinggi muatan tangki mengikuti tinggi sarat pada ketinggian pasang air laut tertentu maka pada tebal 100 % nilai *cumulative damage ratio* yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 29 Rekapitulasi perhitungan *cumulative damage* untuk S1 tebal pelat 100 %

Lokasi	log (N)	N	n_i	n_i/N
M1	5.4682	293912.914	6205	0.0211
M2	5.6316	428186.42	6205	0.0145
M3	6.9821	9597072.12	6205	0.0006
M4	5.5142	326706.363	6205	0.019

Berdasarkan perhitungan kondisi tinggi muatan tangki mengikuti tinggi sarat pada pasang surut tertinggi (T=5.2 meter, H = 3.3 meter) maka pada tebal 100 % nilai *cumulative damage ratio* yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 30 Rekapitulasi perhitungan *cumulative damage* untuk S2 tebal pelat 100 %

Lokasi	log (N)	N	n_i	n_i/N
M1	5.961	914053.756	6205	0.0068
M2	5.3575	227757.23	6205	0.0272
M3	6.2686	1856055.29	6205	0.0033
M4	5.7583	573241.912	6205	0.0108

Berdasarkan perhitungan kondisi tinggi muatan tangki mengikuti tinggi sarat pada ketinggian pasang air laut tertentu maka pada tebal 97.5 % nilai *cumulative damage ratio* yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 31 Rekapitulasi perhitungan *cumulative damage* untuk S1 tebal pelat 97.5 %

Lokasi	log (N)	N	n_i	n_i/N
M1	5.4338	271494.001	6205	0.0229
M2	5.598	396317.438	6205	0.0157
M3	6.9729	9394798.64	6205	0.0007
M4	5.5152	327462.044	6205	0.0189

Berdasarkan perhitungan berdasarkan kondisi tinggi muatan tangki mengikuti tinggi sarat pada pasang surut tertinggi (T=5.2 meter, H = 3.3 meter) maka pada tebal 97.5 % nilai *cumulative damage ratio* yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 32 Rekapitulasi perhitungan *cumulative damage* untuk S2 tebal pelat 97.5 %

Lokasi	log (N)	N	n_i	n_i/N
M1	5.9064	806091.896	6205	0.0077
M2	5.3232	210494.88	6205	0.0295
M3	6.242	1745896.94	6205	0.0036
M4	5.7439	554499.817	6205	0.0112

4.6.2 Kondisi Percobaan (S3 Untuk Pelat 100 %)

Pada tebal pelat 100 %, berdasarkan simulasi kondisi pembebanan dimana muatan tangki mula-mula sama dengan tinggi pasang yang terjadi, kemudian dikurangi mencapai ketinggian minimum yang dibutuhkan pada pasang tersebut, maka dilakukan analisa kelelahan untuk lokasi M1, M2, M3 dan M4 dengan hasil berikut ini :

Tabel 4. 33 Perhitungan *cumulative damage* untuk S3 tebal pelat 100 % lokasi M1

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
164.7	1	214	49.3	111983	6205	0.055410
46.8	1	88.2	135.0	8749016	6205	0.000709
46	1	173	127.0	9246668	6205	0.000671
8	1	127	135.0	72751453956	6205	0.000000
6.4	1	88.2	94.6	224548131463	6205	0.000000
4	1	169	173.0	2394777088748	6205	0.000000
						0.056791

Tabel 4. 34 Perhitungan *cumulative damage* untuk S3 tebal pelat 100 % lokasi M2

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
151.7	1	204.0	52.3	205130	6205	0.030249
33.3	1	88.7	122.0	86348317	6205	0.000072
33	1	127.0	160.0	90562616	6205	0.000069
						0.030390

Tabel 4. 35 Perhitungan *cumulative damage* untuk S3 tebal pelat 100 % lokasi M3

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
75.3	1	94.6	19.3	1677259	6205	0.003699
28.4	1	41.6	70.0	157410592	6205	0.000039
14.1	1	32.5	46.6	6596932897	6205	0.000001
8.6	1	70.0	61.4	85283880726	6205	0.000000
5	1	46.6	41.6	1358240706900	6205	0.000000
						0.003740

Tabel 4. 36 Perhitungan *cumulative damage* untuk S3 tebal pelat 100 % lokasi M4

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
152.1	1	200.0	47.9	203515	6205	0.030489
26	1	152.0	126.0	315570774	6205	0.000020
25	1	111.0	86.0	386981915	6205	0.000016
						0.030525

4.6.3 Kondisi Percobaan (S4 Untuk Pelat 100 %)

Pada tebal pelat 100 %, berdasarkan simulasi kondisi pembebanan dimana muatan tangki mula-mula sama dengan tinggi pasang yang terjadi, kemudian dikurangi mencapai ketinggian minimum yang dibutuhkan pada pasang surut tertinggi (T=5.2 meter, H = 3.3 meter), maka dilakukan analisa kelelahan untuk lokasi M1, M2, M3 dan M4 dengan hasil berikut ini :

Tabel 4. 37 Perhitungan *cumulative damage* untuk S4 tebal pelat 100 % lokasi M1

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
126.8	1	214	87.2	245400	6205	0.025285
22	1	113	135.0	398955491	6205	0.000016
34	1	173	139.0	40333982	6205	0.000154
4	1	139	135.0	2374673342727	6205	0.000000
						0.025455

Tabel 4. 38 Perhitungan *cumulative damage* untuk S4 tebal pelat 100 % lokasi M2

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
151.7	1	204.0	52.3	205130	6205	0.030249
16.3	1	88.7	105.0	3514779375	6205	0.000002
24	1	127.0	151.0	478123314	6205	0.000013
						0.030264

Tabel 4. 39 Perhitungan *cumulative damage* untuk S4 tebal pelat 100 % lokasi M3

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
75.3	1	94.6	19.3	1677259	6205	0.003699
26.6	1	41.6	68.2	225060183	6205	0.000028
11.8	1	32.5	44.3	16671180304	6205	0.000000
6.8	1	68.2	61.4	283846069717	6205	0.000000
2.7	1	44.3	41.6	30654686574997	6205	0.000000
						0.003727

Tabel 4. 40 Perhitungan *cumulative damage* untuk S4 tebal pelat 100 % lokasi M4

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
133.7	1	200.0	66.3	299634	6205	0.020709
19	1	152.0	133.0	1567416605	6205	0.000004
12.5	1	111.0	98.5	13472416977	6205	0.000000
						0.020713

4.6.4 Kondisi Percobaan (S3 Untuk Pelat 97.5 %)

Pada tebal pelat 97.5 %, berdasarkan simulasi kondisi pembebanan dimana muatan tangki mula-mula sama dengan tinggi pasang yang terjadi, kemudian dikurangi mencapai ketinggian minimum yang dibutuhkan pada pasang tersebut, maka dilakukan analisa kelelahan untuk lokasi M1, M2, M3 dan M4 dengan hasil berikut ini :

Tabel 4. 41 Perhitungan *cumulative damage* untuk S3 tebal pelat 97.5 % lokasi M1

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
169.3	1	220	50.7	103101	6205	0.060184
48.2	1	90.8	139.0	8005327	6205	0.000775
47	1	178	131.0	8679718	6205	0.000715
8	1	131	139.0	72863565404	6205	0.000000
6.6	1	90.8	97.4	192497976113	6205	0.000000
3	1	175	178.0	10168698397660	6205	0.000000
						0.061674

Tabel 4. 42 Perhitungan *cumulative damage* untuk S3 tebal pelat 97.5 % lokasi M2

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
152.8	1	202.0	49.2	200731	6205	0.030912
26	1	156.0	130.0	315867739	6205	0.000020
24.7	1	113.0	88.3	412401590	6205	0.000015
						0.030947

Tabel 4. 43 Perhitungan *cumulative damage* untuk S3 tebal pelat 97.5 % lokasi M3

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
76.9	1	96.8	19.9	1574730	6205	0.003940
24.7	1	47.4	72.1	339345432	6205	0.000018
14.5	1	33.5	48.0	5726822601	6205	0.000001
9.8	1	72.1	62.3	4.E+10	6205	0.000000
0.6	1	48.0	47.4	6.E+16	6205	0.000000
						0.003960

Tabel 4. 44 Perhitungan *cumulative damage* untuk S3 tebal pelat 97.5 % lokasi M4

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
152.8	1	202.0	49.2	200731	6205	0.030912
26	1	156.0	130.0	315867739	6205	0.000020
24.7	1	113.0	88.3	412401590	6205	0.000015
						0.030947

4.6.5 Kondisi Percobaan (S4 Untuk Pelat 97.5 %)

Pada tebal pelat 97.5 %, berdasarkan simulasi kondisi pembebanan dimana muatan tangki mula-mula sama dengan tinggi pasang yang terjadi, kemudian dikurangi mencapai ketinggian minimum yang dibutuhkan pada pasang surut tertinggi (T=5.2 meter, H = 3.3 meter), maka dilakukan analisa kelelahan untuk lokasi M1, M2, M3 dan M4 dengan hasil berikut ini :

Tabel 4. 45 Perhitungan *cumulative damage* untuk S4 tebal pelat 97.5 % lokasi M1

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
130.3	1	220	89.7	226151	6205	0.027437
22	1	117	139.0	401195340	6205	0.000015
34	1	178	144.0	40692559	6205	0.000152
3	1	175	178.0	1.E+13	6205	0.000000
						0.027605

Tabel 4. 46 Perhitungan *cumulative damage* untuk S4 tebal pelat 97.5 % lokasi M2

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
155.8	1	210.0	54.2	189358	6205	0.032769
16.7	1	91.3	108.0	3114493579	6205	0.000002
26	1	130.0	156.0	317112649	6205	0.000020
						0.032790

Tabel 4. 47 Perhitungan *cumulative damage* untuk S4 tebal pelat 97.5 % lokasi M3

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
76.9	1	96.8	19.9	1574730	6205	0.003940
22.8	1	47.4	70.2	522136224	6205	0.000012
12.1	1	33.5	45.6	1.E+10	6205	0.000000
7.9	1	70.2	62.3	1.E+11	6205	0.000000
1.8	1	45.6	47.4	2.E+14	6205	0.000000
						0.003953

Tabel 4. 48 Perhitungan *cumulative damage* untuk S4 tebal pelat 97.5 % lokasi M4

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		N	n _i	n _i /N
133.9	1	202.0	68.1	298293	6205	0.020802
20	1	156.0	136.0	1202374842	6205	0.000005
12	1	113.0	101.0	16598637257	6205	0.000000
						0.020807

4.7 Rekapitulasi Umur Kelelahan

4.7.1 Kondisi Normal

Hasil umur kelelahan untuk simulasi 1 (**S1**) pada kondisi 100 % adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 49 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S1 tebal pelat 100 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.021112	947.342
M2	0.014491	1380.134
M3	0.000647	30933.351
M4	0.018993	1053.042

Hasil umur kelelahan untuk simulasi 2 (**S2**) pada kondisi 100 % adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 50 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S2 tebal pelat 100 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.006788	2946.185
M2	0.027244	734.109
M3	0.003343	5982.451
M4	0.010824	1847.677

Hasil umur kelelahan untuk simulasi 1 (**S1**) pada kondisi 97.5 % adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 51 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S1 tebal pelat 97.5 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.022855	875.081
M2	0.015657	1277.413
M3	0.00066	30281.382
M4	0.018949	1055.478

Hasil umur kelelahan untuk simulasi 2 (**S2**) pada kondisi 97.5 % adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 52 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S2 tebal pelat 97.5 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.007698	2598.201
M2	0.029478	678.469
M3	0.003554	5627.387
M4	0.01119	1787.268

4.7.2 Kondisi Percobaan

Hasil umur kelelahan untuk simulasi 3 (**S3**) pada kondisi 100 % adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 53 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S3 tebal pelat 100%

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.056791	352.170
M2	0.03039	658.121
M3	0.00374	5347.700
M4	0.030525	655.205

Hasil umur kelelahan untuk simulasi 4 (**S4**) pada kondisi 100 % adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 54 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S4 tebal pelat 100%

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.025455	785.710
M2	0.030264	660.853
M3	0.003727	5365.594
M4	0.020713	965.576

Perhitungan umur kelelahan untuk simulasi 3 (**S3**) pada kondisi 97.5 % adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 55 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S3 tebal pelat 97.5 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.061674	324.285
M2	0.032937	607.212
M3	0.00396	5050.672
M4	0.030947	646.273

Perhitungan umur kelelahan untuk simulasi 4 (**S4**) pada kondisi 97.5% adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 56 Rekapitulasi umur kelelahan untuk S4 tebal pelat 97.5 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.027605	724.496
M2	0.03279	609.937
M3	0.003953	5059.817
M4	0.020807	961.205

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, maka diperoleh kesimpulan dan saran sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil analisa umur kelelahan untuk keadaan normal diperoleh :
 - a. Pada simulasi S1 untuk kondisi 100 % dan 97.5 % berturut-turut; lokasi gading nomor 14 memiliki umur kelelahan terkecil yaitu 947 tahun dan 875 tahun.
 - b. Pada simulasi S2 untuk kondisi 100 % dan 97.5 % berturut-turut; lokasi wrang pelat nomor 14 memiliki umur kelelahan terkecil yaitu 734 tahun dan 678 tahun.
2. Dari hasil analisa umur kelelahan untuk keadaan percobaan diperoleh :
 - a. Pada simulasi S3 untuk kondisi 100 % dan 97.5 % berturut-turut; lokasi wrang pelat nomor 14 memiliki umur kelelahan terkecil yaitu 660 tahun dan 609 tahun.
 - b. Pada simulasi S4 untuk kondisi 100 % dan 97.5 % berturut-turut; lokasi gading nomor 14 memiliki umur kelelahan terkecil yaitu 352 tahun dan 324 tahun.
3. Baik pada simulasi kondisi normal maupun percobaan, efek kelelahan dari beban siklis tidak berakibat signifikan terhadap kekuatan kelelahan dari struktur pintu dok.
4. Dibandingkan efek beban siklis, efek korosi memiliki pengaruh yang jauh lebih signifikan terhadap kekuatan struktur pintu dok. Hal ini dibuktikan pada pengecekan kekuatan untuk kondisi tebal pelat 95 %, 92.5 % dan 90 % , pintu dok telah melewati batas tegangan *minimum nominal upper yield* (R_{EH})-nya.

5.2 Saran

1. Berdasarkan asumsi pengurangan pelat maksimal sebesar 0,21 mm pertahun untuk permukaan dibawah air, maka :
 - Pada pelat *flange* pada gading 20 dan 14 ($t = 10$ mm) perlu dilakukan proses *replating* setiap 2 tahun atau dilakukan *replating* dengan penambahan tebal pelat.
 - Pada pelat *flange* pada gading 17 ($t = 10$ mm) perlu dilakukan proses *replating* setiap 3 tahun atau dilakukan *replating* dengan penambahan tebal pelat.
2. Untuk memperoleh hasil yang lebih valid, perlu dilakukan survey terhadap kondisi pemuatan *ballast* untuk tiap pasang surut dari pintu dok.
3. Perlu dilakukan pemeriksaan UT (*ultrasonic*) berkala untuk mengetahui laju pengurangan pelat pertahun. Hal ini dapat dilakukan melalui sisi dalam pintu dok saat proses pembangunan/parasi kapal dilakukan di dalam dok.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN GAMBAR DAN PERHITUNGAN

No	Uraian	Lampiran
1	<i>Construction Profile Of Dock Gate</i>	Terlampir
2	<i>Main Dimensions and General Information</i>	A-1
3	Perhitungan dan Rekapitulasi Pengurangan Tebal Akibat Korosi	B-1
4	Rekapitulasi Berat Kontruksi Pintu <i>Graving Dock</i>	C-1
5	Perhitungan Berat Ballast Minimum Untuk Tiap Ketinggian Pasang Surut	D-1
6	Konvergensi Antara Ukuran dan Jumlah Elemen Terhadap Tegangan	E-1
7	Pengecekan Kekuatan	F-1 s/d F-5
8	Peninjauan Lokasi <i>Fatigue</i>	G-1
9	Rekapitulasi Hasil Tegangan	H-1
10	Perhitungan <i>Cumulative Damage</i> Dan <i>Fatigue Life</i> S1 & S2	I-1 s/d I-9
11	Perhitungan <i>Cumulative Damage</i> Dan <i>Fatigue Life</i> S3 Kondisi 100 %	J-1 s/d J-5
12	Perhitungan <i>Cumulative Damage</i> Dan <i>Fatigue Life</i> S4 Kondisi 100 %	K-1 s/d K-5
13	Perhitungan <i>Cumulative Damage</i> Dan <i>Fatigue Life</i> S3 Kondisi 97.5 %	L-1 s/d L-5
14	Perhitungan <i>Cumulative Damage</i> Dan <i>Fatigue Life</i> S4 Kondisi 97.5 %	M-1 s/d M-5
15	Rekap Umur Kelelahan	N-1
16	Pengecekan Laju Korosi Terhadap Kondisi Kontruksi Pintu Dok	P-1
17	Ilustrasi Simulasi Kondisi Pembebanan	Terlampir
18	Lampiran Data Pasang Surut	Terlampir

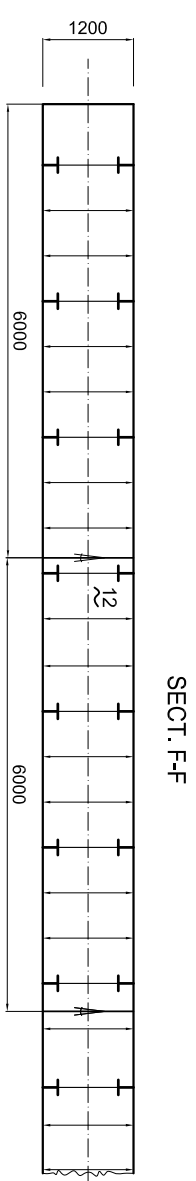
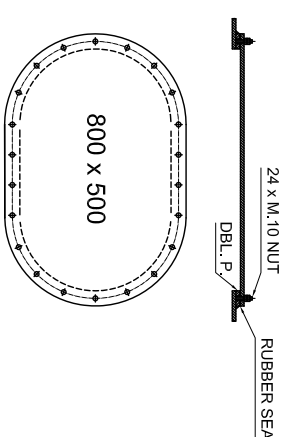
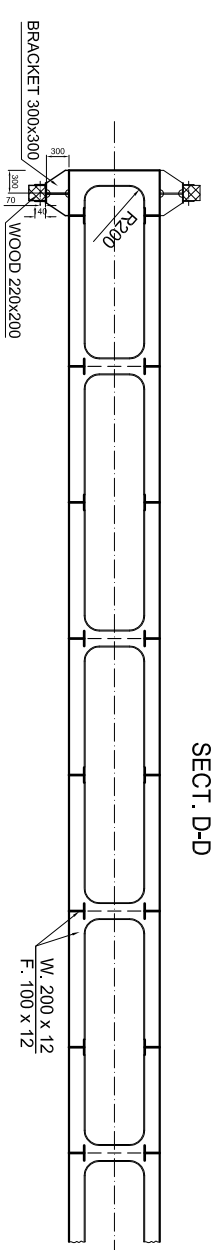
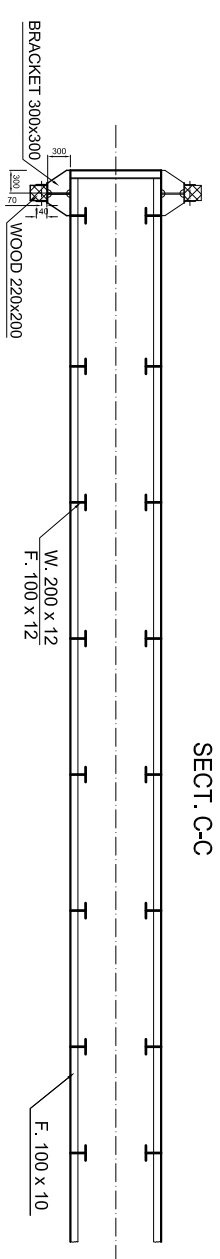
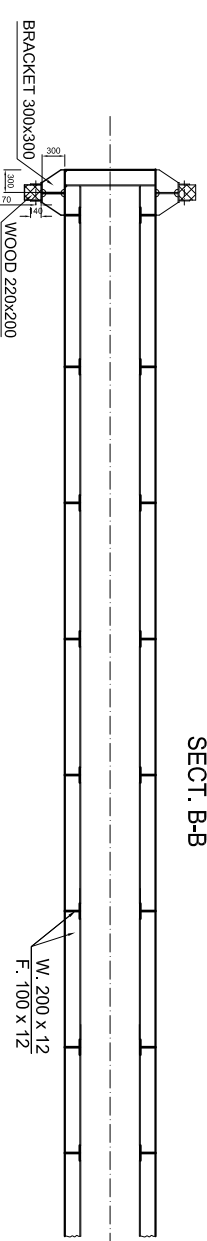
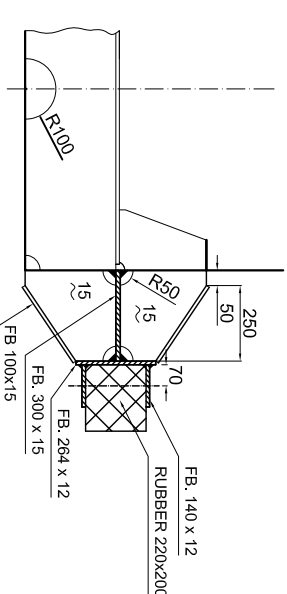
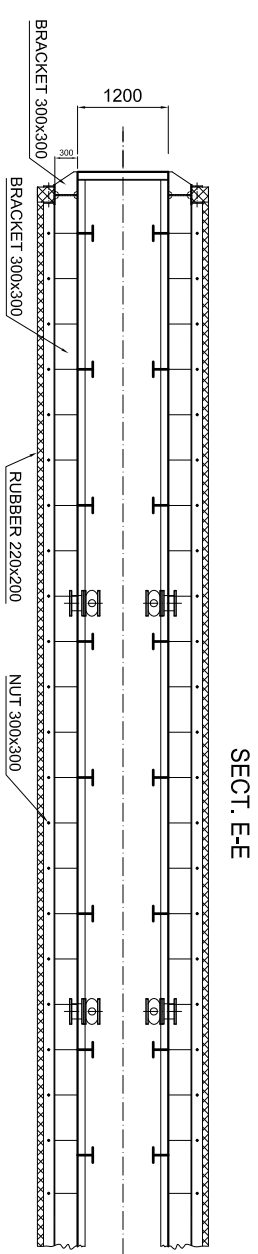
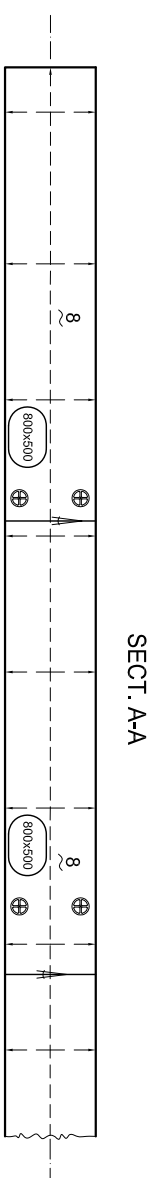
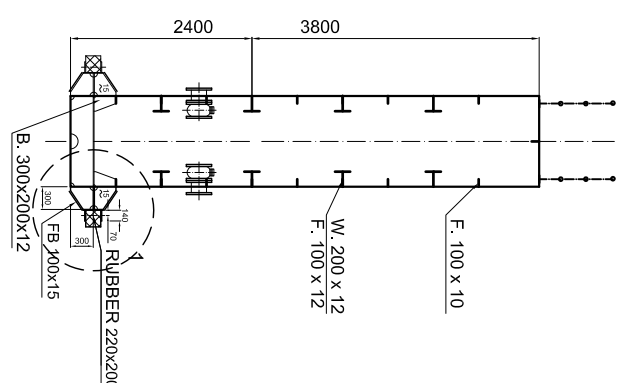
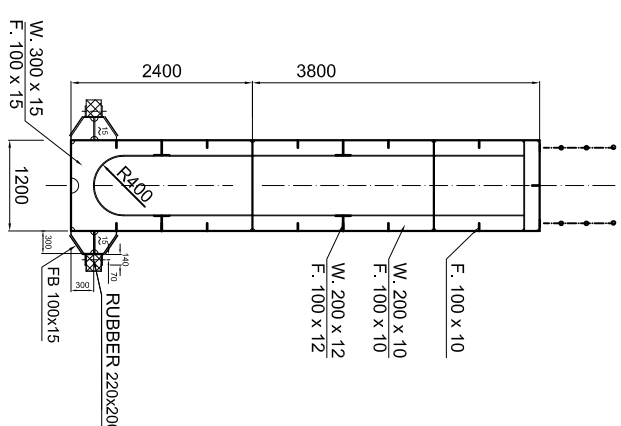
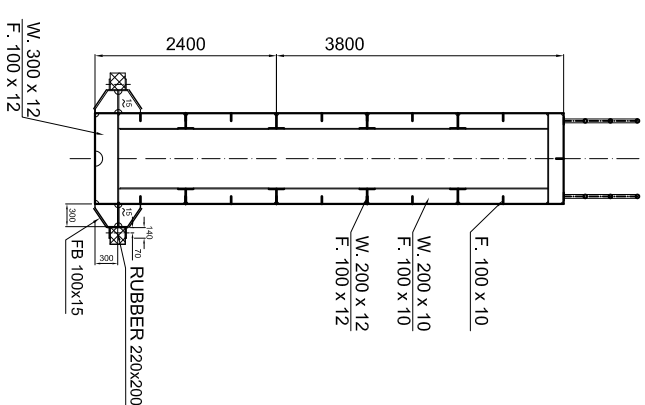
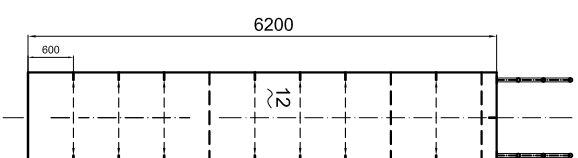
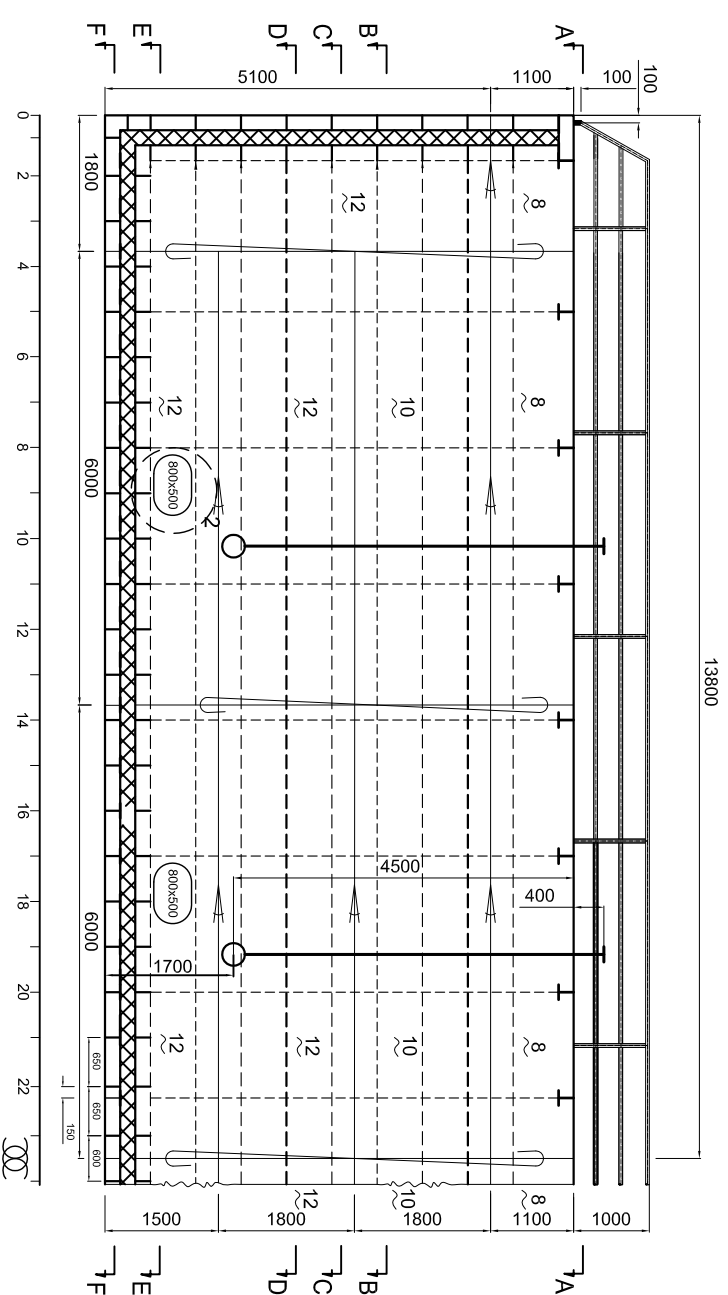
DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (2005). *Standard Practices for Cycle Counting in Fatigue Analysis*. ASTM.
- Bai, Y. (2003). *Marine Structural Design*. Oxford: Elsevier.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2005). *Analysis Tehniques Strength*. Biro Klasifikasi Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2014). *Rules For The Classification And Construction Of Seagoing Steel Ships*. Biro Klasifikasi Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2004). *Regulations for Corrosion Protection and Coating Systems*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Cornick, H. F. (1968). *Dock and Harbour Engineering*. London: Charles Griffin & Company Limited.
- Dinas Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut. (2015). *“Daftar Pasang Surut Tide Tables Tahun 2015 Kepulauan Indonesia (Indonesian Archipelago)”*. Jakarta: Dinas Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut.
- Lessen, T., & Recho, N. (2006). *Fatigue Life Analysis of Welded Structures*. Antony Rowe Ltd.
- Liu, G. R., & Quek, S. S. (2003). *The Finite Element Method : A Practical Course*. Oxford: Eksevier.
- Maddox, S. J. (1991). *Fatigue Strength of Welded Structures*. England: Abington Publishing.
- NOAA. *Chapter 9 : Tides and Tidal Currents*. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Owen, F. H., & Jeom, K. P. (2010). *Ship Structural Analysis and Design*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Enginners.
- Septiana, D. (2012). *Perkiraan Besar Fatigue Life pada Bracket Kapal Tanker Single Hull Berdasarkan Prosedur Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tsinker, G. P. (1995). *Marine Structures Engineering Specialized Application*. New York: Chapman & Hall.
- Widodo, M. (2010). *Kehandalan Scantling Struktur Geladak Dan Dasar Pada Konversi Tanker Menjadi FPSO Terhadap Beban Kelelahan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Yogiarto, A. (2014). *Perhitungan Fatigue Life Kapal Tanker Single Hull Diatas 20.000 DWT yang Beroperasi di Indonesia Usia Lebih Dari 15 Tahun pada Tahun 2012* . Surabaya: Institut Teknolgi Sepuluh Nopember.

PRINCIPAL PARTICULARS

LENGTH OVER ALL (L.O.A.)	:	27.60	m
BREADTH (MLD)	:	1.20	m
DEPTH (MLD)	:	6.20	m
MAXIMUM DRAFT (DESIGN)	:	5.20	m
MINIMUM DRAFT (DESIGN)	:	3.60	m

[illegible]

LAMPIRAN A1

Main Dimension			
LOA	=	27.6	meter
Breath	=	1.2	meter
Depth	=	6.2	meter
C _B	=	1.0	
Variasi Loading Condition			
T ₁	=	5.2	meter
T ₂	=	4.7	meter
T ₃	=	4.2	meter
T ₄	=	3.6	meter
Informasi Massa Jenis dan Percepatan Akselerasi			
ρ _{steel}	=	7.850	ton/m ³
ρ _{rubber}	=	1.200	ton/m ³
ρ _{air}	=	1.025	ton/m ³
g	=	9.81	m/s ²
Berat Baja Total	=	64.562	ton

LAMPIRAN B1

Perhitungan dan Rekapitulasi Pengurangan Teba Akibat Korosi

Lokasi	Item	prof	location	t (mm)	t _{97.5%}	t _{95%}	t _{92.5%}	t _{90%}
Deck	Deck Plate	-	< 1.5 m from	8.0	7.800	7.600	7.400	7.200
	Deck Longitudinal	I	< 1.5 m from	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
	Strong Beam	web	< 1.5 m from	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
		face	< 1.5 m from	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
Side	Side Plate 1	-	< 1.5 m from	8.0	7.800	7.600	7.400	7.200
	Side Plate 2 < 1.5 m from tanktop	-	< 1.5 m from tanktop	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
	Side Plate 2 > 1.5 m from tanktop	-	> 1.5 m from tanktop	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
	Side Plate 3	-	> 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Side Plate 4	-	< 1.5 m from	8.0	7.800	7.600	7.400	7.200
	Side Plate 5 < 1.5 m from tanktop	-	< 1.5 m from tanktop	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Side Plate 5 > 1.5 m from tanktop	-	> 1.5 m from tanktop	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	S. Longitudinal 1	I	< 1.5 m from	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
	S. Longitudinal	I	> 1.5 m from	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
	Stringer 1	web	< 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
		face	< 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Stringer 2,3,4	web	> 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
		face	> 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	S. Tranverse < 1.5 m from tanktop	web	< 1.5 m from tanktop	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
		face	< 1.5 m from	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
	S. Tranverse > 1.5 m from tanktop	web	> 1.5 m from tanktop	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
		face	> 1.5 m from	10.0	9.750	9.500	9.250	9.000
Front	Front Plate < 1.5 m from tanktop	-	< 1.5 m from tanktop	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Front Plate > 1.5 m from tanktop	-	> 1.5 m from tanktop	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
Bottom	Bottom Plate		> 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Solid Floor (type 1)	web	> 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
		face	> 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Solid Floor (type 2)	web	> 1.5 m from	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
		face	> 1.5 m from	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
Horizontal Bracket	Bracket	I	> 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Bracket Girder	web	> 1.5 m from	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
		face	> 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Rubber Bracket	I	> 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Corner Bracket	web	> 1.5 m from	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
		face	> 1.5 m from	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
Vertical bracket	Bracket < 1.5 m from tanktop	web	< 1.5 m from tanktop	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
		face	< 1.5 m from	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
	Bracket > 1.5 m from tanktop	web	> 1.5 m from tanktop	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
		face	> 1.5 m from	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
	Bracket Girder < 1.5 m from tanktop	web	< 1.5 m from tanktop	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
		face	< 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Bracket Girder > 1.5 m from tanktop	web	> 1.5 m from tanktop	15.0	14.625	14.250	13.875	13.500
		face	> 1.5 m from	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Rubber Bracket < 1.5 m from tanktop	I	< 1.5 m from tanktop	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800
	Rubber Bracket > 1.5 m from tanktop	I	> 1.5 m from tanktop	12.0	11.700	11.400	11.100	10.800

LAMPIRAN C1

Rekapitulasi Berat Kontruksi Untuk Setengah Pintu Graving Dock :

Informasi Massa Jenis dan Percepatan Akselerasi

$\rho_{\text{steel}} =$	7.850	ton/m ³
$\rho_{\text{rubber}} =$	1.200	ton/m ³
$\rho_{\text{air}} =$	1.025	ton/m ³
$g =$	9.81	m/s ²

Lokasi	Item	Jumlah	Panjang (m)	Lebar (m)	t (mm)	profil	w ₁ (mm)	t ₁ (mm)	w ₂ (mm)	t ₂ (mm)	BERAT (TON)	VCG	MOMEN _{VCG} (tonmm)
Deck	Deck Plate	1	13.800	1.200	0.008						1.040	6.200	6.448
	Deck Longitudinal	1	13.800			I	0.100	0.010			0.108	6.100	0.661
	Strong Beam	8	1.200			T	0.200	0.010	0.100	0.010	0.226	6.065	1.371
Side	Side Plate (type 1)	4	6.000	1.100	0.008						1.658	5.650	9.367
	Side Plate (type 2)	4	6.000	1.800	0.010						3.391	4.200	14.243
	Side Plate (type 3)	4	6.000	3.300	0.012						7.461	1.650	12.310
	Side Plate (type 4)	2	1.800	1.100	0.008						0.249	5.650	1.405
	Side Plate (type 5)	2	1.800	5.100	0.012						1.730	2.550	4.410
	S. Longitudinal	10	13.700			I	0.100	0.010			1.075	3.000	3.226
	Stringer (type 1)	4	13.600			T	0.200	0.012	0.100	0.012	1.537	2.400	3.690
	Stringer (type 2)	4	13.800			T	0.200	0.012	0.100	0.012	1.396	3.600	5.026
	S. Tranverse (type 1)	12	5.700			T	0.200	0.010	0.100	0.010	1.611	3.150	5.074
	S. Tranverse (type 2)	4	4.800			T	0.200	0.010	0.100	0.010	0.452	3.600	1.628
Front	Front Plate	1	1.200	6.200	0.012						0.701	3.100	2.173
	Stringer (type 1)	2	1.200			T	0.200	0.012	0.100	0.012	0.068	2.400	0.163
	Longitudinal	5	1.200			I	0.100	0.010			0.047	3.000	0.141
Bottom	Bottom Plate	1	13.800	1.200	0.012						1.560	0.000	0.000
	Solid Floor (type 1)	21	1.200			T	0.300	0.012	0.100	0.012	0.934	0.152	0.141
	Solid Floor (type 2)	2	1.200			T	0.300	0.015	0.100	0.015	0.262	0.442	0.116
	Bracket	30				T	0.300	0.012	0.200	0.012	0.212	0.440	0.093
Horizontal Bracket	Bracket	88				T	0.300	0.015	0.100	0.015	0.8095	0.300	0.243
	Bracket Girder	2	13.500			T	0.300	0.015	0.264	0.012	1.625	0.300	0.488
	Rubber Bracket (up)	2	13.400			I	0.140	0.012			0.353	0.400	0.141
	Rubber Bracket (down)	2	13.600			I	0.140	0.012			0.359	0.200	0.072
	Rubber	2	13.600			□	0.220	0.200			1.436	0.300	0.431
	Corner Bracket	4				T	0.300	0.015	0.100	0.015	0.0368	0.238	0.009
Vertical bracket	Bracket	40				T	0.300	0.015	0.100	0.015	0.3679	3.300	1.214
	Bracket Girder	2	5.700			T	0.300	0.015	0.264	0.012	0.686	3.150	2.162
	Rubber Bracket (inner)	2	5.500			I	0.140	0.012			0.145	3.250	0.471
	Rubber Bracket (outer)	2	5.800			I	0.140	0.012			0.153	3.100	0.474
	Rubber	2	5.600			□	0.220	0.200			0.591	3.200	1.892
											32.281		79.284

Berat Kontruksi = $2 \times (\Sigma_1) = 2 \times 32.281 = 64.562 \text{ ton}$
 Titik Berat Kontruksi = $(\Sigma_2)/(\Sigma_1) = 79.284/(2 \times 32.281) = 2.456 \text{ from Baseline}$

LAMPIRAN D-1

Perhitungan Berat Ballast Minimum Untuk Tiap Ketinggian Pasang Surut

Posisi Draft =	5.2	meter
$\Delta_{MAX} = \rho \times c_B \times L \times B \times T_{MAX}$		
=	1.025 x 1.000 x 27.600 x 1.200 x 5.200	
=	176.530	Ton
$W_{ballast} = \Delta - W_{steel}$		
=	176.530- 64.562	
=	111.967	Ton
$h_{ballast} = W_{ballast} / (L \times B \times c_B \times \rho)$		
=	176.530 / (27.600 x 1.200 x 1.000 x 5.200)	
=	3.298	meter
tinggi ballast diambil =	3.300	meter

Posisi Draft =	4.7	meter
$\Delta_{MAX} = \rho \times c_B \times L \times B \times T_{MAX}$		
=	1.025 x 1.000 x 27.600 x 1.200 x 4.700	
=	159.556	Ton
$W_{ballast} = \Delta - W_{steel}$		
=	159.556- 64.562	
=	94.993	Ton
$h_{ballast} = W_{ballast} / (L \times B \times c_B \times \rho)$		
=	159.556 / (27.600 x 1.200 x 1.000 x 4.700)	
=	2.798	meter
tinggi ballast diambil =	2.800	meter

Posisi Draft =	4.2	meter
$\Delta_{MAX} = \rho \times c_B \times L \times B \times T_{MAX}$		
=	1.025 x 1.000 x 27.600 x 1.200 x 4.200	
=	142.582	Ton
$W_{ballast} = \Delta - W_{steel}$		
=	142.582- 64.562	
=	78.019	Ton
$h_{ballast} = W_{ballast} / (L \times B \times c_B \times \rho)$		
=	142.582 / (27.600 x 1.200 x 1.000 x 4.200)	
=	2.298	meter
tinggi ballast diambil =	2.300	meter

Posisi Draft =	3.6	meter
$\Delta_{MAX} = \rho \times c_B \times L \times B \times T_{MAX}$		
=	1.025 x 1.000 x 27.600 x 1.200 x 3.600	
=	122.213	Ton
$W_{ballast} = \Delta - W_{steel}$		
=	122.213- 64.562	
=	57.651	Ton
$h_{ballast} = W_{ballast} / (L \times B \times c_B \times \rho)$		
=	122.213 / (27.600 x 1.200 x 1.000 x 3.600)	
=	1.698	meter
tinggi ballast diambil =	1.700	meter

LAMPIRAN D-2

Variasi Beban Kerja Pada Pintu Dok

Kombinasi		H1 (m)	H1 (m)	H1 (m)
T1 (m)	5.2	5.2	3.3	3.3
T2 (m)	4.7	4.7	3.3	2.8
T3(m)	4.2	4.2	3.3	2.3
T4(m)	3.6	3.6	3.3	1.7

Dinotasikan Sebagai Berikut

Variasi Tinggi Sarat	Variasi Tinggi Muatan Tanki		
	T1H1	T1H2	T1H3
	T2H1	T2H2	T2H3
	T3H1	T3H2	T3H3
	T4H1	T4H2	T4H3

Beban kerja berupa tekanan akibat tinggi permukaan air pada kondisi sarat maksimum dan minimum

LAMPIRAN D-3

Perhitungan Beban Kerja (Tekanan Hidrostatik)

Rumus Tekanan Hidrostatik		
P =	ρ.g.h	[kN/m ²]
dimana :		
P =	Hydrstatic Pressure [kN/m ²]	
ρ =	1.025 ton/m ³	Massa jenis air laut
g=	9.81 m/s ²	Percepatan gravitasi
h =	jarak vertical load centre ke permukaan air [m]	

Perhitugan Beban Kerja Akibat Tinggi Pasang Surut Air Laut (h = T)

Sarat (m)	Lokasi dari Base Line (m)	h (m)	$\rho \cdot g \cdot h$	P $[\text{kN/m}^2]$
T = 5.20	5.20	0.00	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	3.30	1.90	$1.025 \times 9.810 \times 1.900$	19.105
	0.00	5.20	$1.025 \times 9.810 \times 5.200$	52.287
T = 4.70	4.70	0.00	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	3.30	1.40	$1.025 \times 9.810 \times 1.400$	14.077
	2.80	1.90	$1.025 \times 9.810 \times 1.900$	19.105
	0.00	4.70	$1.025 \times 9.810 \times 4.700$	47.260
T = 4.20	4.20	0.00	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	3.30	0.90	$1.025 \times 9.810 \times 0.900$	9.050
	2.30	1.90	$1.025 \times 9.810 \times 1.900$	19.105
	0.00	4.20	$1.025 \times 9.810 \times 4.200$	42.232
T = 3.60	3.60	0.00	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	3.30	0.30	$1.025 \times 9.810 \times 0.300$	3.017
	1.70	1.90	$1.025 \times 9.810 \times 1.900$	19.105
	0.00	3.60	$1.025 \times 9.810 \times 3.600$	36.199

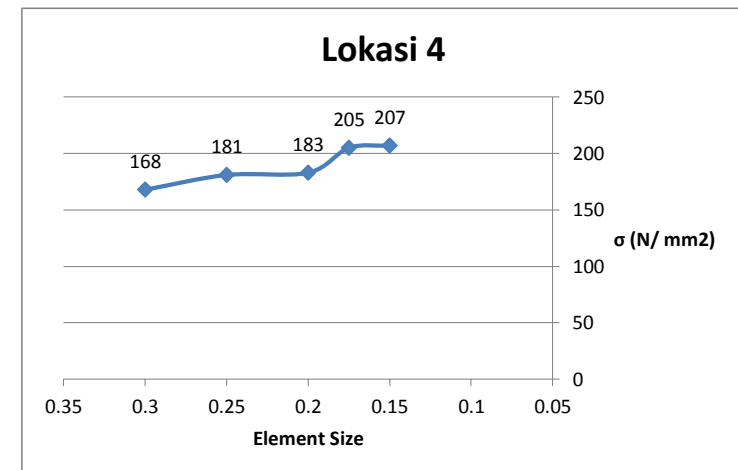
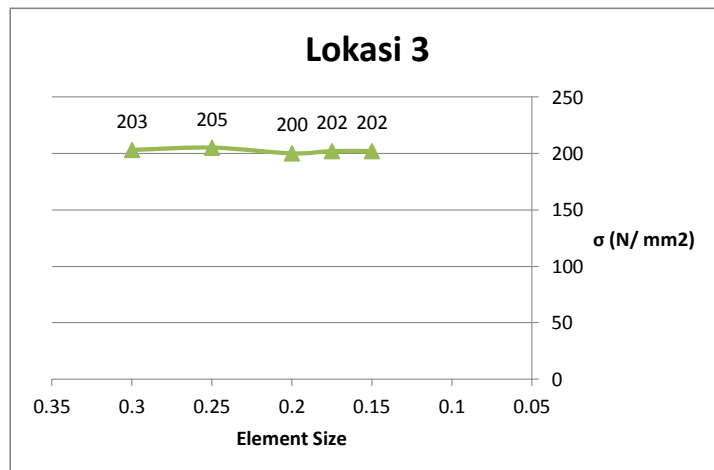
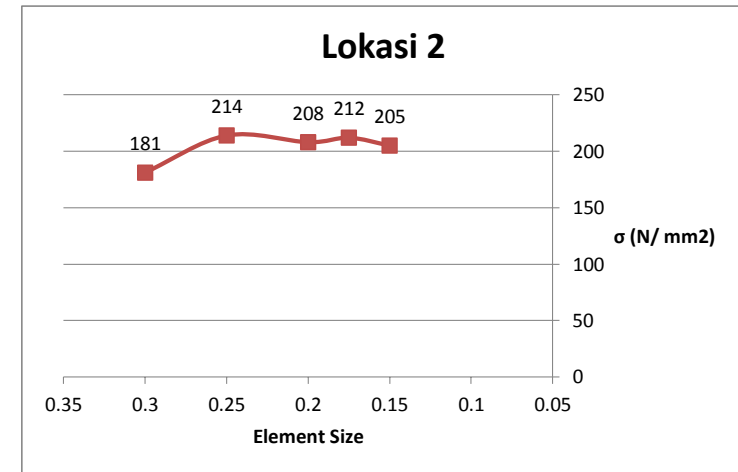
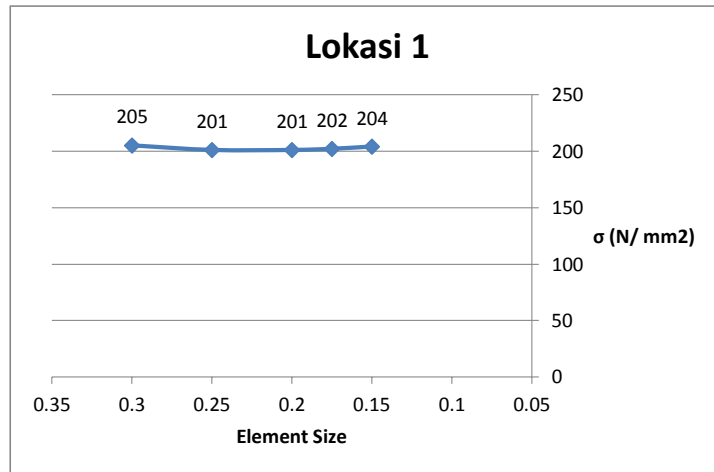
Perhitugan Beban Kerja Akibat Tinggi Muatan Ballast (h = H)

Sarat (m)	Lokasi dari Base Line (m)	h (m)	$\rho \cdot g \cdot h$	P $[\text{kN/m}^2]$
H = 5.20	5.20	0.0	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	0.00	5.2	$1.025 \times 9.810 \times 5.200$	52.287
H = 4.70	4.70	0.0	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	0.00	4.7	$1.025 \times 9.810 \times 4.700$	47.260
H = 4.20	4.20	0.0	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	0.00	4.2	$1.025 \times 9.810 \times 4.200$	42.232
H = 3.60	3.60	0.0	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	0.00	3.6	$1.025 \times 9.810 \times 3.600$	36.199
H = 3.30	3.30	0.0	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	0.00	3.3	$1.025 \times 9.810 \times 3.300$	33.182
H = 2.80	2.80	0.0	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	0.00	2.8	$1.025 \times 9.810 \times 2.800$	28.155
H = 2.30	2.30	0.0	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	0.00	2.3	$1.025 \times 9.810 \times 2.300$	23.127
H = 1.70	1.70	0.0	$1.025 \times 9.810 \times 0.000$	0.000
	0.00	1.7	$1.025 \times 9.810 \times 1.700$	17.094

LAMPIRAN E1

Konvergensi antara ukuran elemen dan tegangan

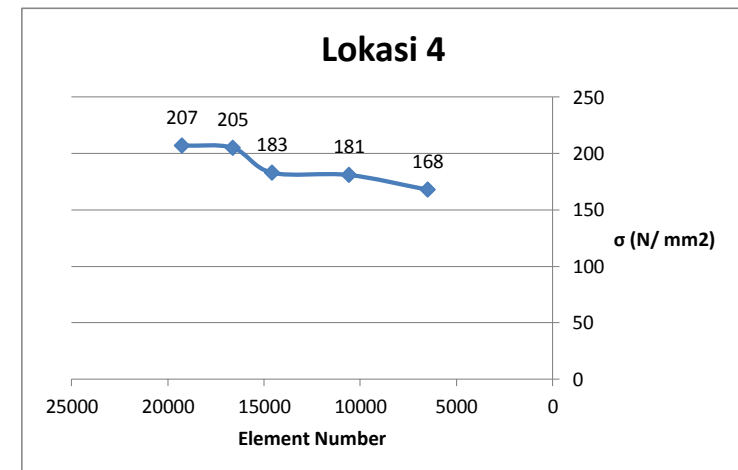
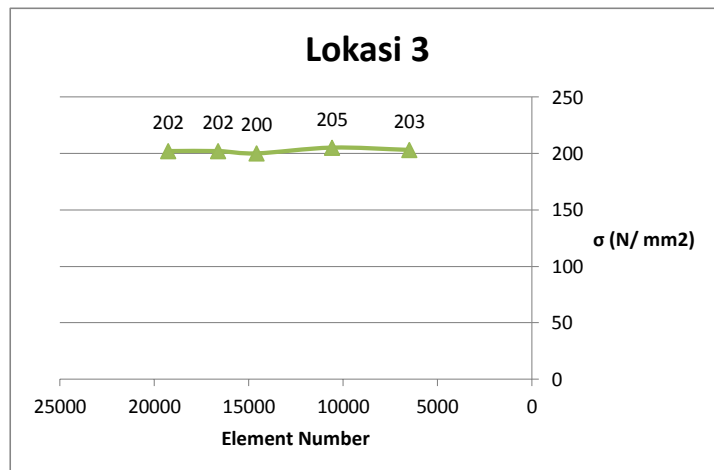
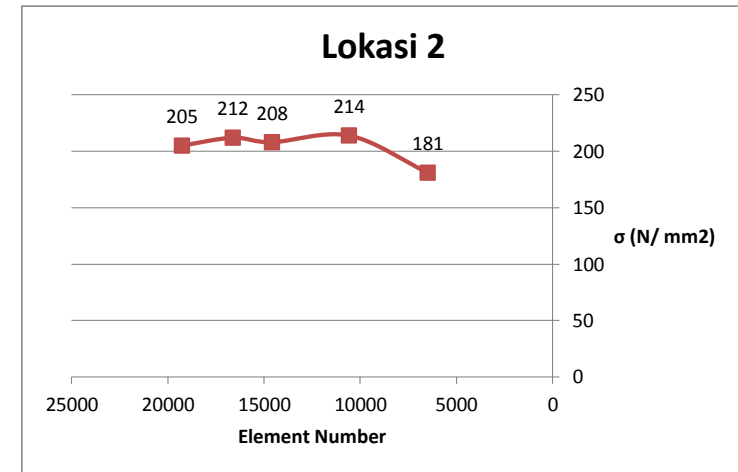
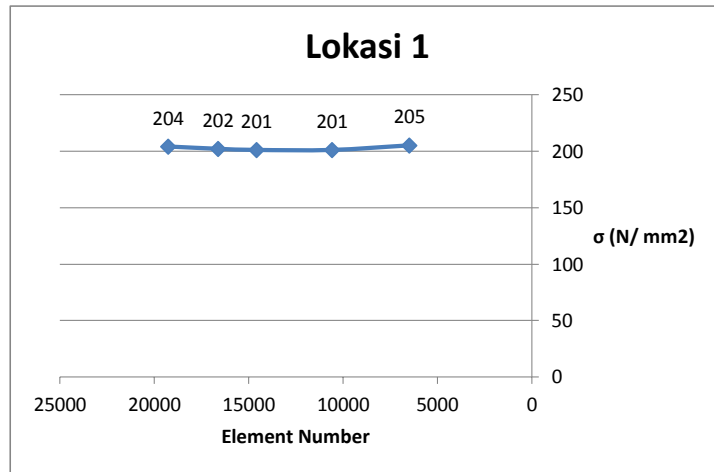
No	element numbe	6494	10589	14589	16628	19272
	element size	0.3	0.25	0.2	0.175	0.15
	lokasi	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
Lokasi 1	frame 17	205	201	201	202	204
Lokasi 2	bracket 3.6 m	181	214	208	212	205
Lokasi 3	frame 20	203	205	200	202	202
Lokasi 4	solid floor 17	168	181	183	205	207



LAMPIRAN E2

Konvergensi antara Jumlah elemen dan tegangan

No	element numbe	6494	10589	14589	16628	19272
	element size	0.3	0.25	0.2	0.175	0.15
	lokasi	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
Lokasi 1	frame 17	205	201	201	202	204
Lokasi 2	bracket 3.6 m	181	214	208	212	205
Lokasi 3	frame 20	203	205	200	202	202
Lokasi 4	solid floor 17	168	181	183	205	207



LAMPIRAN F1

Pengecekan kekuatan untuk variasi beban kerja pada kondisi tebal pelat 100 %

Notasi :	Lokasi 1	=	Flange pada frame 17
	Lokasi 2	=	Bracket pada ketinggian 6 m
	Lokasi 3	=	Flange pada frame 20
	Lokasi 4	=	Solid Floor pada frame 17
	Lokasi 5	=	Flange pada frame 14

T= 5.2	T1H1	T1H2	T1H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Lokasi 1	221	204	204	ACCEPT
Lokasi 2	208	205	205	ACCEPT
Lokasi 3	229	202	202	ACCEPT
Lokasi 4	188	207	207	ACCEPT
Lokasi 5	227	191	191	ACCEPT

T = 4.7	T2H1	T2H2	T2H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Lokasi 1	169	151	156	ACCEPT
Lokasi 2	139	135	137	ACCEPT
Lokasi 3	173	146	153	ACCEPT
Lokasi 4	139	159	153	ACCEPT
Lokasi 5	175	139	148	ACCEPT

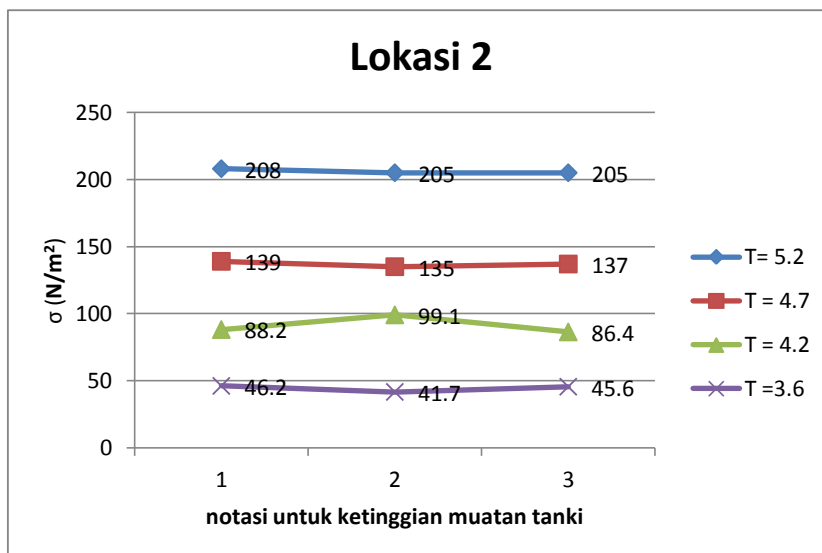
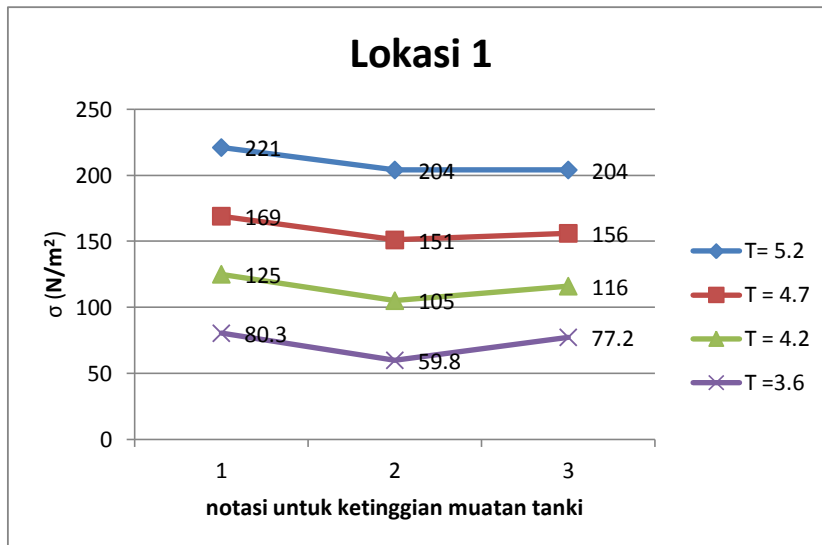
T = 4.2	T3H1	T3H2	T3H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Lokasi 1	125	105	116	ACCEPT
Lokasi 2	88.2	99.1	86.4	ACCEPT
Lokasi 3	125	84	112	ACCEPT
Lokasi 4	97.1	119	107	ACCEPT
Lokasi 5	129	95.2	112	ACCEPT

T =3.6	T4H1	T4H2	T4H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Lokasi 1	80.3	59.8	77.2	ACCEPT
Lokasi 2	46.2	41.7	45.6	ACCEPT
Lokasi 3	78.9	55.2	74.3	ACCEPT
Lokasi 4	57.7	79.9	61	ACCEPT
Lokasi 5	83.5	53.1	78	ACCEPT

LAMPIRAN F2

Grafik perbandingan nilai tegangan pada tiap lokasi pengecekan kekuatan untuk kondisi pelat 100 %

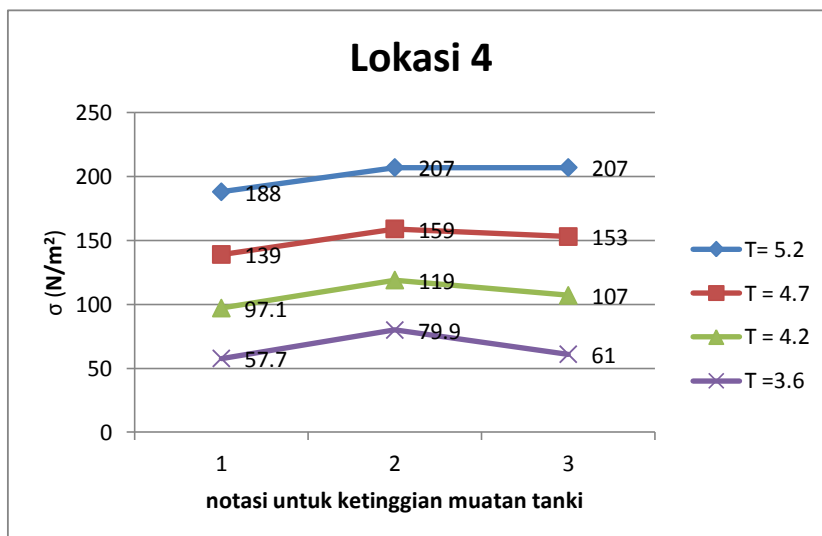
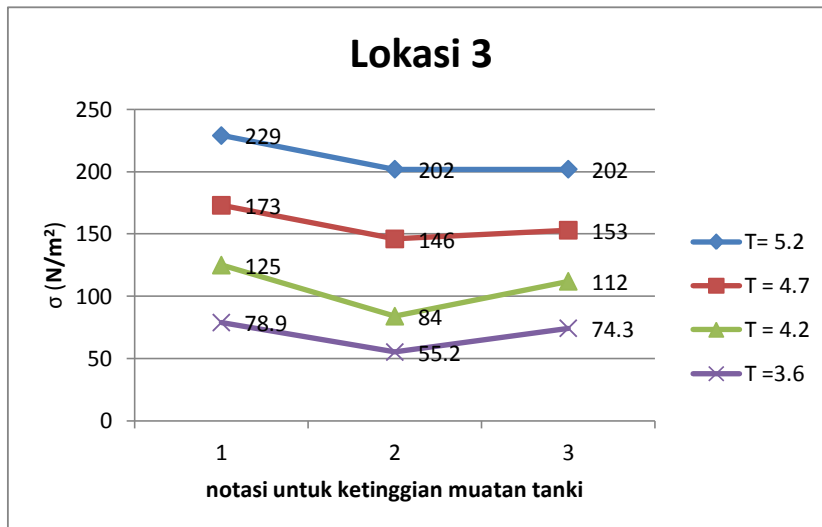
Nomor	Notasi	Keterangan
1	H1	Tinggi Muatan Tanki Mengikuti Saratnya
2	H2	Tinggi Muatan Tanki sebesar 3.3 m (tinggi minimum untuk seluruh keadaan
3	H3	Tinggi Muatan Tanki minimum pada sarat tersebut



LAMPIRAN F3

Grafik perbandingan nilai tegangan pada tiap lokasi pengecekan kekuatan untuk kondisi pelat 100 %

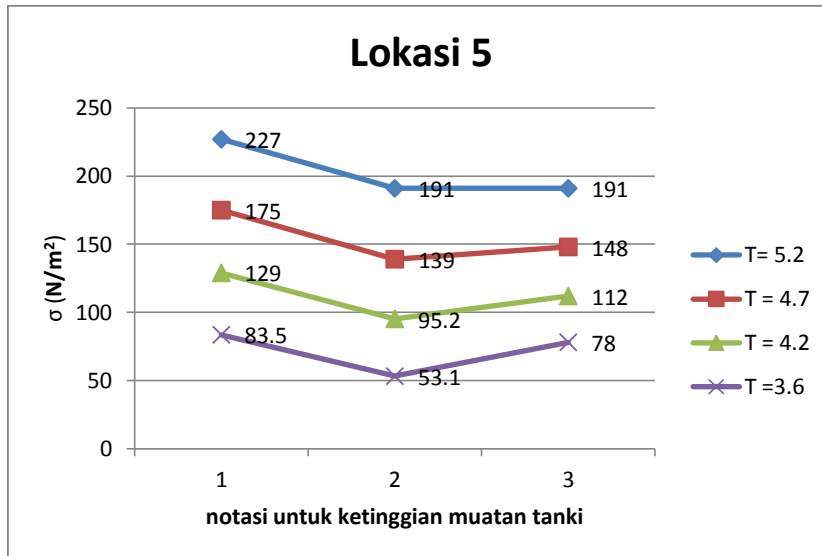
Nomor	Notasi	Keterangan
1	H1	Tinggi Muatan Tanki Mengikuti Saratnya
2	H2	Tinggi Muatan Tanki sebesar 3.3 m (tinggi minimum untuk seluruh keadaan
3	H3	Tinggi Muatan Tanki minimum pada sarat tersebut



LAMPIRAN F4

Grafik perbandingan nilai tegangan pada tiap lokasi pengecekan kekuatan untuk kondisi pelat 100 %

Nomor	Notasi	Keterangan
1	H1	Tinggi Muatan Tanki Mengikuti Saratnya
2	H2	Tinggi Muatan Tanki sebesar 3.3 m (tinggi minimum untuk seluruh keadaan
3	H3	Tinggi Muatan Tanki minimum pada sarat tersebut



LAMPIRAN F5

Pengecekan kekuatan untuk beban kerja pada kondisi sarat 5.2 m untuk kondisi tebal pelat 97,5 % ; 95 % ; 92,5 % dan 90 %

Notasi :	Lokasi 1	=	Flange pada frame 17
	Lokasi 2	=	Bracket pada ketinggian 6 m
	Lokasi 3	=	Flange pada frame 20
	Lokasi 4	=	Solid Floor pada frame 17
	Lokasi 5	=	Flange pada frame 14

Kondisi tebal pelat 97,5 %

T= 5.2	T1H1	T1H2	T1H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Lokasi 1	223	206	206	ACCEPT
Lokasi 2	212	209	209	ACCEPT
Lokasi 3	232	204	204	ACCEPT
Lokasi 4	193	212	212	ACCEPT
Lokasi 5	229	193	193	ACCEPT

Kondisi tebal pelat 95 %

T= 5.2	T1H1	T1H2	T1H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Lokasi 1	233	214	214	ACCEPT
Lokasi 2	219	216	216	ACCEPT
Lokasi 3	241	212	212	REJECT
Lokasi 4	200	219	219	ACCEPT
Lokasi 5	239	201	201	REJECT

Kondisi tebal pelat 92.5 %

T= 5.2	T1H1	T1H2	T1H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Lokasi 1	239	220	220	REJECT
Lokasi 2	225	222	222	ACCEPT
Lokasi 3	247	217	217	REJECT
Lokasi 4	206	226	226	ACCEPT
Lokasi 5	245	207	207	REJECT

Kondisi tebal pelat 90 %

T= 5.2	T1H1	T1H2	T1H3	status
	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
Lokasi 1	245	227	227	REJECT
Lokasi 2	231	228	228	ACCEPT
Lokasi 3	253	223	223	REJECT
Lokasi 4	212	234	234	ACCEPT
Lokasi 5	252	213	213	REJECT

LAMPIRAN G1

Peninjauan Lokasi Fatigue

Lokasi 1	nomor frame	T1H1	T1H2	range	max	diambil : frame 14 (M1)
		σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
	22	181	157	24	45	
	20	132	109	23		
	17	210	175	35		
	14	214	169	45		
	11	131	109	22		
	8	188	144	44		
	5	148	114	34		
	3	28.2	15.3	12.9		

Lokasi 2	nomor frame	T1H1	T1H2	range	max	diambil : solid floor (M2)
		σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
	22	173	187	14	33	
	17	188	207	19		
	14	171	204	33		
	8	132	160	28		
	5	89.1	114	24.9		
	2	11.9	22.5	10.6		

Lokasi 3	nomor frame	T1H1	T1H2	range	max	diambil : stringer 3.1 (M3)
		σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
	3.6 m	61.4	94.6	33.2	33.2	
	1.2 m	15.8	40.7	24.9		

Lokasi 4	nomor frame	T1H1	T1H2	range	max	diambil : frame 20 (M4)
		σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	σ (N/m ²)	
	20	200	174	26	26	
	11	178	164	14		

LAMPIRAN H1

REKAPITULASI HASIL TEGANGAN

Kondisi 100 %

T= 5.2 m	T1H1	T1H2	T1H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	214	169	169
M2	171	204	204
M3	61.4	94.6	94.6
M4	200	174	174

T= 4.7 m	T2H1	T2H2	T2H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	173	139	127
M2	127	151	160
M3	41.6	68.2	70
M4	152	133	126

T = 4.2 m	T3H1	T3H2	T3H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	135	113	88.2
M2	88.7	105	122
M3	32.5	44.3	46.6
M4	111	98.5	86

T = 3.6 m	T4H1	T4H2	T4H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	94.6	87.2	49.3
M2	52.3	57.5	83.1
M3	19.3	21.8	24.1
M4	70.1	66.3	47.9

Kondisi 97.5 %

T= 5.2 m	T1H1	T1H2	T1H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	220	175	175
M2	176	210	210
M3	62.3	96.8	96.8
M4	202	177	177

T= 4.7 m	T2H1	T2H2	T2H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	178	144	131
M2	130	156	165
M3	47.4	70.2	72.1
M4	156	136	130

T = 4.2 m	T3H1	T3H2	T3H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	139	117	90.8
M2	91.3	108	125
M3	33.5	45.6	48
M4	113	101	88.3

T = 3.6 m	T4H1	T4H2	T4H3
	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
M1	97.4	89.7	50.7
M2	54.2	59.6	85.5
M3	19.9	22.5	24.8
M4	72.2	68.1	49.2

LAMPIRAN I - 1

Perhitungan Cumulative Damage Ration Untuk Beban Amplitudo Konstan

Tipe Pasang Surut Pasang surut harian tunggal

Desain Umur = 20 tahun

= 7300 hari

Koefisien masa = 0.85 ; untuk posisi pintu dok duduk selama masa pengoperasian dok

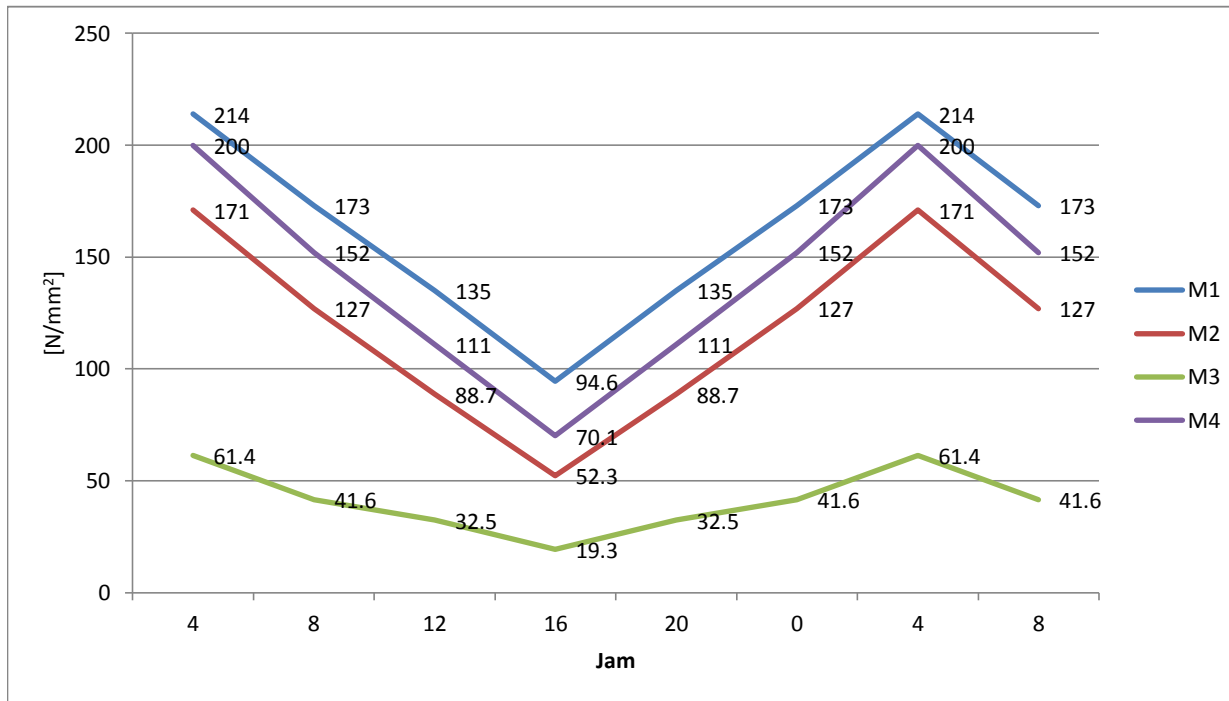
operasi = 0.15 ; untuk posisi pintu dok mengapung selama masa kapal keluar masuk dan reparasi pintu dok

Sehingga total kejadian tiap jenis : 7300×0.850 = **6205** kali

LAMPIRAN I - 2

Simulasi Untuk kondisi tinggi muatan tanki mengikuti tinggi sarat (S1) pada tebal pelat 100 %

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	4	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T2H1	4	8	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T3H1	8	12	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T4H1	12	16	3.6	3.6	94.6	52.3	19.3	70.1
T3H1	16	20	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T2H1	20	0	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T1H1	0	4	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T2H1	4	8	4.7	4.7	173	127	41.6	152



LAMPIRAN I - 3

Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$$\log(N) = 7 + m \cdot Q$$

Faktor koreksi untuk $\Delta\sigma_R$

$$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 \quad \Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$$

$$m = 2 \cdot m_0 - 1 \quad \text{for } Q > 0 \quad f_m = 1 \quad \text{for welded joint}$$

$$= 3.000 \quad \text{for } Q \leq 0 \quad f_w = 1 \quad \text{for normal case}$$

$$m_0 = 3.000 \quad \text{; for welded joint} \quad f_i = 1 \quad \text{in general}$$

$$f_t = 1 \quad \text{for } t < 25 \text{ mm}$$

$$c = 0 \quad \text{stress range C}$$

$$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R \quad [\text{N/mm}^2]$$

Kriteria : $n_i/N < 1$

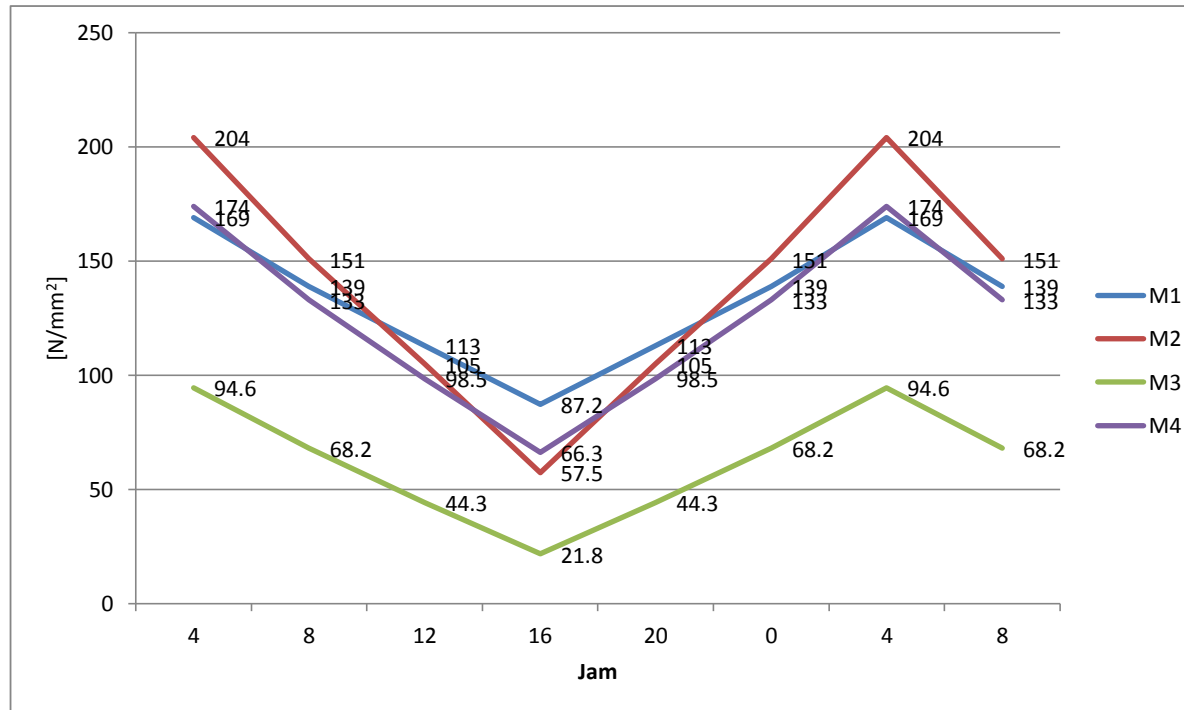
Lokasi	$\Delta\sigma$	cle Cour	point-point		σ_m	f_w	$\Delta\sigma_R$	$\Delta\sigma_{RC}$	m_0	Q	m
M1	119.4	1	214	94.6	59.70	1.000	63	63	3	-0.511	3
M2	118.7	1	171	52.3	59.35	1.000	71	71	3	-0.456	3
M3	42.1	1	61.4	19.3	21.05	1.000	71	71	3	-0.006	3
M4	129.9	1	200	70.1	64.95	1.000	71	71	3	-0.495	3

Lokasi	$\log(N)$	N	n_i	n_i/N	igue life (years)
M1	5.468	3E+05	6205	0.021	947.342
M2	5.632	4E+05	6205	0.014	1380.134
M3	6.982	1E+07	6205	6E-04	30933.351
M4	5.514	3E+05	6205	0.019	1053.042

LAMPIRAN I - 4

Simulasi Untuk kondisi tinggi muatan tanki minimum untuk sarat tertinggi (S2) pada tebal pelat 100 %

Simulasi	Durasi Waktu		T	h	M1	M2	M3	M4
	(Jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H2	0	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H2	4	8	4.7	3.3	139	151	68.2	133
T3H2	8	12	4.2	3.3	113	105	44.3	98.5
T4H2	12	16	3.6	3.3	87.2	57.5	21.8	66.3
T3H2	16	20	4.2	3.3	113	105	44.3	98.5
T2H2	20	0	4.7	3.3	139	151	68.2	133
T1H2	0	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H2	4	8	4.7	3.3	139	151	68.2	133



LAMPIRAN I - 5

Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$$\log(N) = 7 + m \cdot Q$$

Faktor koreksi untuk $\Delta\sigma_R$

$$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 \quad \Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$$

$$m = 2 \cdot m_0 - 1 \quad \text{for } Q > 0 \quad f_m = 1 \quad \text{for welded joint}$$

$$= 3.000 \quad \text{for } Q \leq 0 \quad f_w = 1 \quad \text{for normal case}$$

$$m_0 = 3.000 \quad \text{; for welded joint} \quad f_i = 1 \quad \text{in general}$$

$$f_t = 1 \quad \text{for } t < 25 \text{ mm}$$

$$c = 0 \quad \text{stress range C}$$

$$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R \quad [\text{N/mm}^2]$$

Kriteria : $n_i/N < 1$

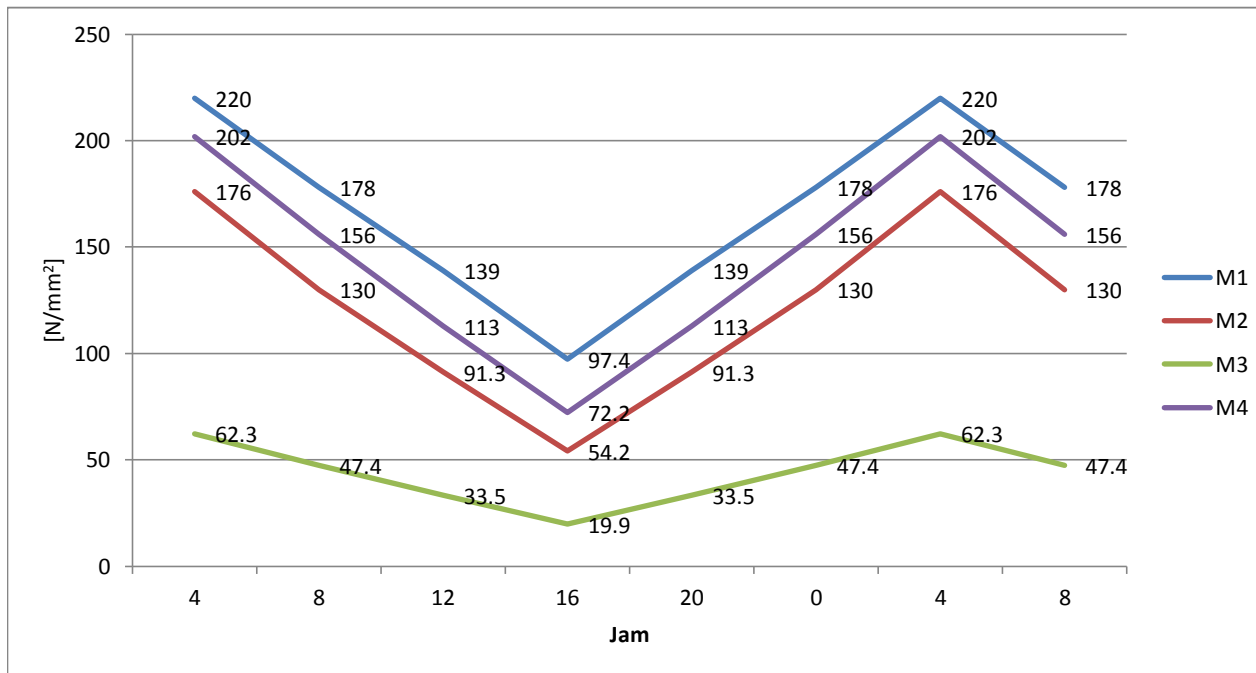
Lokasi	$\Delta\sigma$	cle Cour	point-point		σ_m	f_w	$\Delta\sigma_R$	$\Delta\sigma_{RC}$	m_0	Q	m
M1	81.8	1	169	87.2	40.90	1.000	63	63	3	-0.346	3
M2	146.5	1	204	57.5	73.25	1.000	71	71	3	-0.548	3
M3	72.8	1	94.6	21.8	36.40	1.000	71	71	3	-0.244	3
M4	107.7	1	174	66.3	53.85	1.000	71	71	3	-0.414	3

Lokasi	$\log(N)$	N	n_i	n_i/N	igue life (years)
M1	5.961	9E+05	6205	0.007	2946.185
M2	5.357	2E+05	6205	0.027	734.109
M3	6.269	2E+06	6205	0.003	5982.451
M4	5.758	6E+05	6205	0.011	1847.677

LAMPIRAN I - 6

Simulasi Untuk kondisi tinggi muatan tanki mengikuti tinggi sarat (S1) pada tebal pelat 97.5%

Simulasi	Durasi Waktu		T	h	M1	M2	M3	M4
	(Jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T3H1	8	10	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T4H1	12	14	3.6	3.6	97.4	54.2	19.9	72.2
T3H1	16	18	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T2H1	20	22	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156



LAMPIRAN I - 7

Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$$\log(N) = 7 + m \cdot Q$$

Faktor koreksi untuk $\Delta\sigma_R$

$$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 \quad \Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_W \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$$

$$m = 2 \cdot m_0 - 1 \quad \text{for } Q > 0 \quad f_m = 1 \quad \text{for welded joint}$$

$$= 3.000 \quad \text{for } Q \leq 0 \quad f_W = 1 \quad \text{for normal case}$$

$$m_0 = 3.000 \quad \text{; for welded joint} \quad f_i = 1 \quad \text{in general}$$

$$f_t = 1 \quad \text{for } t < 25 \text{ mm}$$

$$c = 0 \quad \text{stress range C}$$

$$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R \quad [\text{N/mm}^2]$$

Kriteria : $n_i/N < 1$

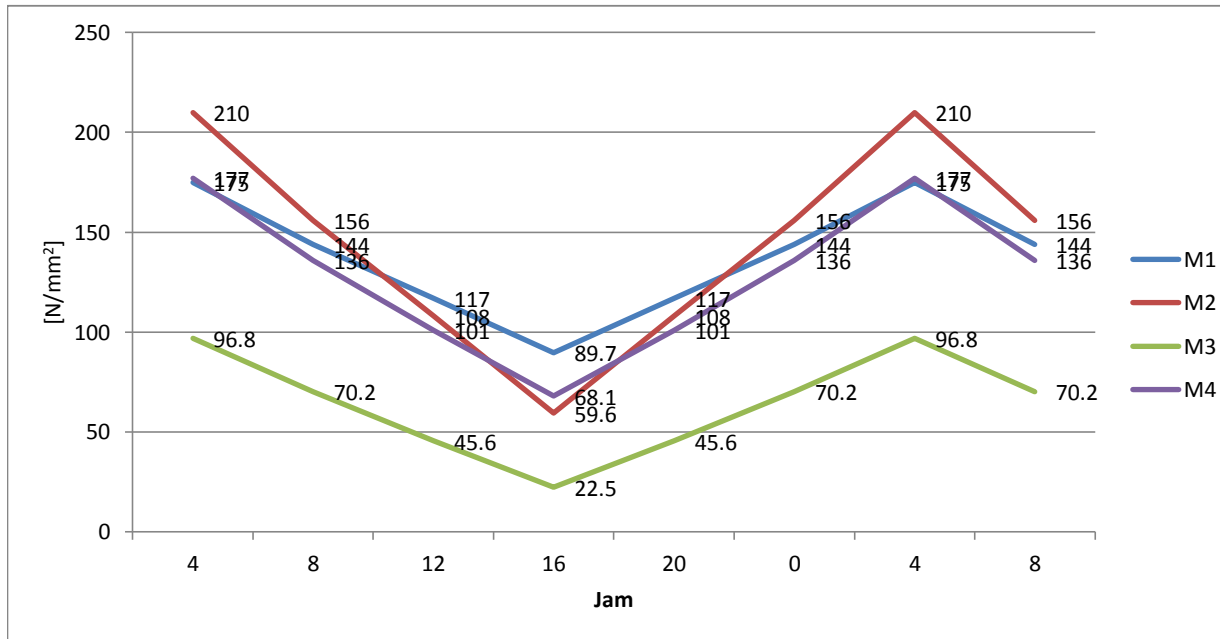
Lokasi	$\Delta\sigma$	cle Cour	point-point	σ_m	f_W	$\Delta\sigma_R$	$\Delta\sigma_{RC}$	m_0	Q	m
M1	122.6	1	220	97.4	61.30	1.000	63	3	-0.522	3
M2	121.8	1	176	54.2	60.90	1.000	71	3	-0.467	3
M3	42.4	1	62.3	19.9	21.20	1.000	71	3	-0.009	3
M4	129.8	1	202	72.2	64.90	1.000	71	3	-0.495	3

Lokasi	$\log(N)$	N	n_i	n_i/N	igue life (years)
M1	5.434	3E+05	6205	0.023	875.08139
M2	5.598	4E+05	6205	0.016	1277.4132
M3	6.973	9E+06	6205	7E-04	30281.382
M4	5.515	3E+05	6205	0.019	1055.478

LAMPIRAN I - 8

Simulasi Untuk kondisi tinggi muatan tanki minimum untuk sarat tertinggi (S2) pada tebal pelat 97.5 %

Simulasi	Durasi Waktu		T	h	M1	M2	M3	M4
	(Jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H2	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H2	6	8	4.7	3.3	144	156	70.2	136
T3H2	10	12	4.2	3.3	117	108	45.6	101
T4H2	14	16	3.6	3.3	89.7	59.6	22.5	68.1
T3H2	18	20	4.2	3.3	117	108	45.6	101
T2H2	22	0	4.7	3.3	144	156	70.2	136
T1H2	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H2	6	8	4.7	3.3	144	156	70.2	136



LAMPIRAN I - 9

Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$$\log(N) = 7 + m \cdot Q$$

Faktor koreksi untuk $\Delta\sigma_R$

$$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 \quad \Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$$

$$m = 2 \cdot m_0 - 1 \quad \text{for } Q > 0 \quad f_m = 1 \quad \text{for welded joint}$$

$$= 3.000 \quad \text{for } Q \leq 0 \quad f_w = 1 \quad \text{for normal case}$$

$$m_0 = 3.000 \quad \text{; for welded joint} \quad f_i = 1 \quad \text{in general}$$

$$f_t = 1 \quad \text{for } t < 25 \text{ mm}$$

$$c = 0 \quad \text{stress range C}$$

$$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R \quad [\text{N/mm}^2]$$

Kriteria : $n_i/N < 1$

Lokasi	$\Delta\sigma$	cle Cour	point-point		σ_m	f_w	$\Delta\sigma_R$	$\Delta\sigma_{RC}$	m_0	Q	m
M1	85.3	1	175	89.7	42.65	1.000	63	63	3	-0.365	3
M2	150.4	1	210	59.6	75.20	1.000	71	71	3	-0.559	3
M3	74.3	1	96.8	22.5	37.15	1.000	71	71	3	-0.253	3
M4	108.9	1	177	68.1	54.45	1.000	71	71	3	-0.419	3

Lokasi	$\log(N)$	N	n_i	n_i/N	fatigue life
M1	5.906	8E+05	6205	0.008	2598.2011
M2	5.323	2E+05	6205	0.029	678.46859
M3	6.242	2E+06	6205	0.004	5627.3874
M4	5.744	6E+05	6205	0.011	1787.2677

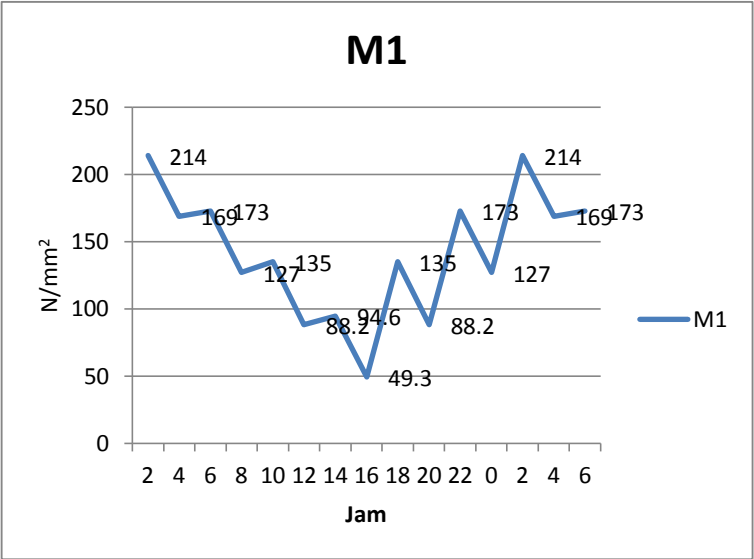
LAMPIRAN J-1

Simulasi untuk kondisi (S3) pada kondisi 100 %

Tipe Pasang Surut	Pasang surut harian tunggal		
Desain Umur	=	20 tahun	
	=	7300 hari	
Koefisien masa operasi	=	0.85 ; untuk posisi pintu dok duduk selama masa pengoperasian dok	
	=	0.15 ; untuk posisi pintu dok mengapung selama masa kapal keluar masuk dan reparasi pintu dok	
Sehingga total kejadian tiap jenis siklus = 7300 x 0.850 = 6205 kali			

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam)		(m)	(m)	(N/mm	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	2	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T1H3	2	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H1	4	6	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T2H3	6	8	4.7	2.8	127	160	70	126
T3H1	8	10	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T3H3	10	12	4.2	2.3	88.2	122	46.6	86
T4H1	12	14	3.6	3.6	94.6	52.3	19.3	70.1
T4H3	14	16	3.6	1.7	49.3	83.1	24.1	47.9
T3H1	16	18	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T3H3	18	20	4.2	2.3	88.2	122	46.6	86
T2H1	20	22	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T2H3	22	0	4.7	2.8	127	160	70	126
T1H1	0	2	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T1H3	2	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H1	4	6	4.7	4.7	173	127	41.6	152

LAMPIRAN J-2



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio
Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$
 $= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 63.000$ N/mm²

Kriteria : $n_i/N < 1$

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m =$ 1 for welded join

$f_w =$ 1 for normal case

$f_i =$ 1 in general

$f_t =$ 1 for $t < 25$ mm

$c =$ 0.3 stress range B

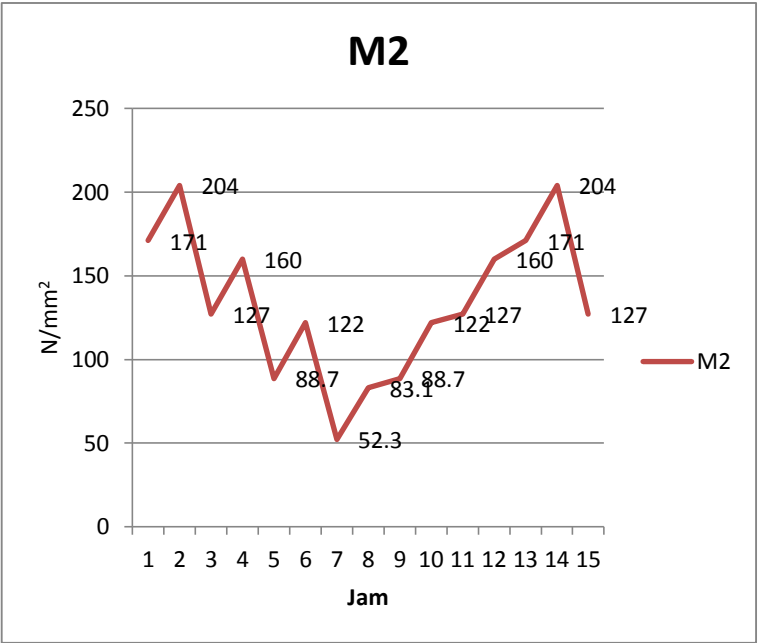
$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Cumulative Damage

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$ (N/mm ²)	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
164.7	1	214	49.3	82.35	1.000	3	63.000	-0.650	3.000	5.049	111983	6205	0.055410
46.8	1	88.2	135.0	23.40	1.215	3	76.530	-0.019	3.000	6.942	8749016	6205	0.000709
46	1	173	127.0	23.00	1.216	3	76.621	-0.011	3.000	6.966	9246668	6205	0.000671
8	1	127	135.0	4.00	1.285	3	80.982	0.772	5.000	10.862	72751453956	6205	0.000000
6.4	1	88.2	94.6	3.20	1.288	3	81.166	0.870	5.000	11.351	224548131463	6205	0.000000
4	1	169	173.0	2.00	1.293	3	81.441	1.076	5.000	12.379	2394777088748	6205	0.000000
	6												0.056791

usia dalam tahun **352.170**

LAMPIRAN J-3



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio
Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$
 $= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 71.000$ N/mm²

Kriteria : $n_i / N < 1$

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m = 1$ for welded join

$f_w = 1$ for normal case

$f_i = 1$ in general

$f_t = 1$ for $t < 25$ mm

$c = 0.3$ stress range B

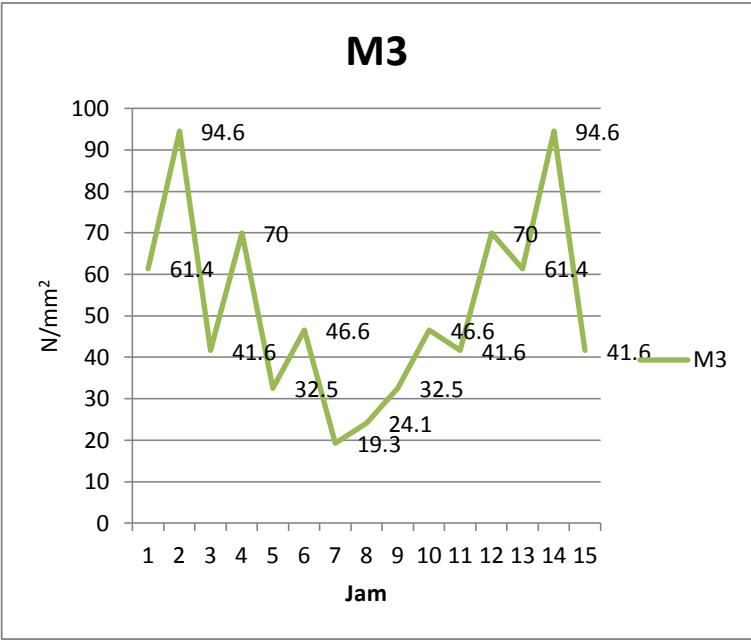
$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Cumulative Damage

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
151.7	1	204.0	52.3	75.85	1.000	3	71.000	-0.563	3.000	5.312	205130	6205	0.030249
33.3	1	88.7	122.0	16.65	1.234	3	87.624	0.187	5.000	7.936	86348317	6205	0.000072
33	1	127.0	160.0	16.50	1.235	3	87.667	0.191	5.000	7.957	90562616	6205	0.000069
	3												0.030390

usia dalam tahun **658.121**

LAMPIRAN J-4



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio
Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$
 $= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 71.000$ N/mm²

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m =$ 1 for welded join

$f_w =$ 1 for normal case

$f_i =$ 1 in general

$f_t =$ 1 for $t < 25$ mm

$c =$ 0.3 stress range B

$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

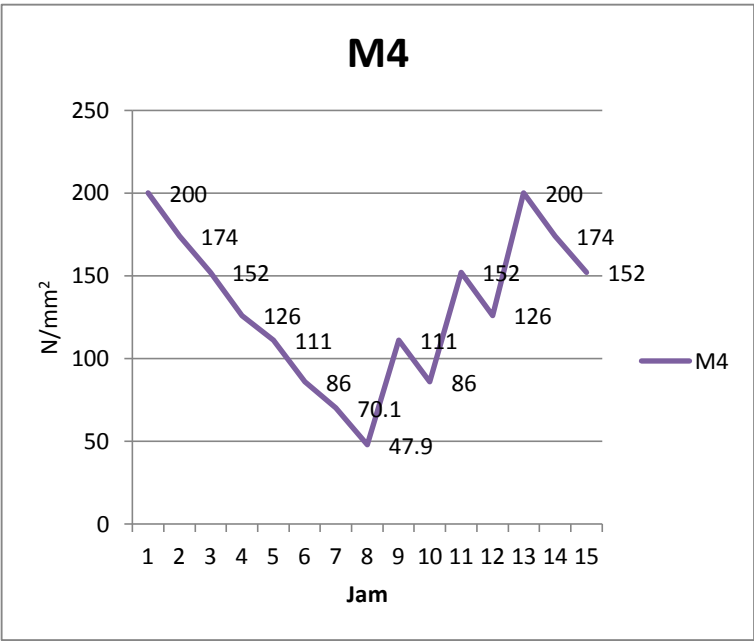
Kriteria : $n_i / N < 1$

Cumulative Damage

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
75.3	1	94.6	19.3	37.65	1.000	3	71.000	-0.258	3.000	6.225	1677259	6205	0.003699
28.4	1	41.6	70.0	14.20	1.187	3	84.267	0.239	5.000	8.197	157410592	6205	0.000039
14.1	1	32.5	46.6	7.05	1.244	3	88.312	0.564	5.000	9.819	6596932897	6205	0.000001
8.6	1	70.0	61.4	4.30	1.266	3	89.867	0.786	5.000	10.931	85283880726	6205	0.000000
5	1	46.6	41.6	2.50	1.280	3	90.886	1.027	5.000	12.133	1358240706900	6205	0.000000
	5												0.003740

usia dalam tahun **5347.700**

LAMPIRAN J-5



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$$\log(N) = 7 + m \cdot Q$$

$$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$$

$$m = 2 \cdot m_o - 1 \quad \text{for } Q > 0$$

$$= 3.000 \quad \text{for } Q \leq 0$$

$$m_o = 3.000 \quad ; \text{for welded joint}$$

$$\Delta\sigma_R = 71.000 \quad \text{N/mm}^2$$

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$$

$$f_m = 1 \quad \text{for welded join}$$

$$f_w = 1 \quad \text{for normal case}$$

$$f_i = 1 \quad \text{in general}$$

$$f_t = 1 \quad \text{for } t < 25 \text{ mm}$$

$$c = 0.3 \quad \text{stress range B}$$

$$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\text{Kriteria : } n_i / N < 1$$

Cumulative Damage

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
152.1	1	200.0	47.9	76.05	1.000	3	71.000	-0.564	3.000	5.309	203515	6205	0.030489
26	1	152.0	126.0	13.00	1.249	3	88.659	0.300	5.000	8.499	315570774	6205	0.000020
25	1	111.0	86.0	12.50	1.251	3	88.799	0.318	5.000	8.588	386981915	6205	0.000016
	3												0.030525

usia dalam tahun

655.205

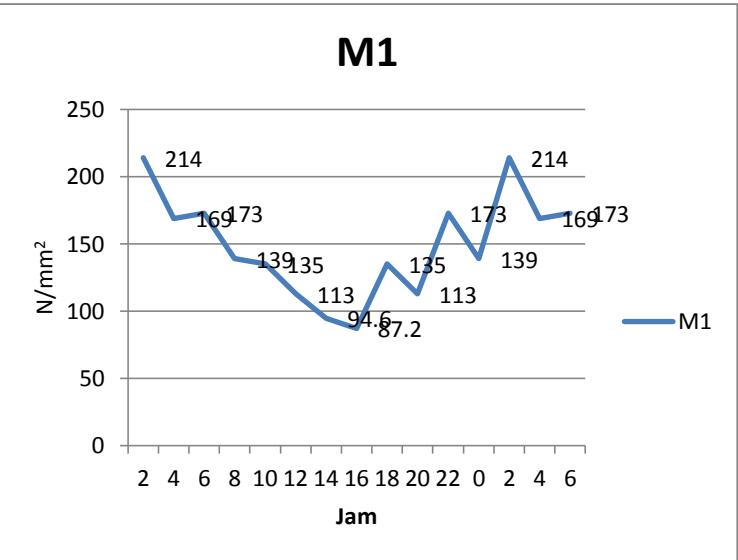
LAMPIRAN K-1

Simulasi untuk kondisi (S4) pada kondisi 100 %

Tipe Pasang Surut	Pasang surut harian tunggal		
Desain Umur	=	20 tahun	
	=	7300 hari	
Koefisien masa operasi	=	0.85 ; untuk posisi pintu dok duduk selama masa pengoperasian dok	
	=	0.15 ; untuk posisi pintu dok mengapung selama masa kapal keluar masuk dan reparasi pintu dok	
Sehingga total kejadian tiap jenis siklus = 7300 x 0.850 = 6205 kali			

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam)		(m)	(m)	(N/mm	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	2	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T1H2	2	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H1	4	6	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T2H2	6	8	4.7	2.8	139	151	68.2	133
T3H1	8	10	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T3H2	10	12	4.2	2.3	113	105	44.3	98.5
T4H1	12	14	3.6	3.6	94.6	52.3	19.3	70.1
T4H2	14	16	3.6	1.7	87.2	57.5	21.8	66.3
T3H1	16	18	4.2	4.2	135	88.7	32.5	111
T3H2	18	20	4.2	2.3	113	105	44.3	98.5
T2H1	20	22	4.7	4.7	173	127	41.6	152
T2H2	22	0	4.7	2.8	139	151	68.2	133
T1H1	0	2	5.2	5.2	214	171	61.4	200
T1H2	2	4	5.2	3.3	169	204	94.6	174
T2H1	4	6	4.7	4.7	173	127	41.6	152

LAMPIRAN K-2



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$$\log(N) = 7 + m \cdot Q$$

$$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$$

$$m = 2 \cdot m_o - 1 \quad \text{for } Q > 0$$

$$= 3.000 \quad \text{for } Q \leq 0$$

$$m_o = 3.000 \quad ; \text{for welded joint}$$

$$\Delta\sigma_R = 63.000 \quad \text{N/mm}^2$$

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$$

$$f_m = 1 \quad \text{for welded joint}$$

$$f_w = 1 \quad \text{for normal case}$$

$$f_i = 1 \quad \text{in general}$$

$$f_t = 1 \quad \text{for } t < 25 \text{ mm}$$

$$c = 0.3 \quad \text{stress range B}$$

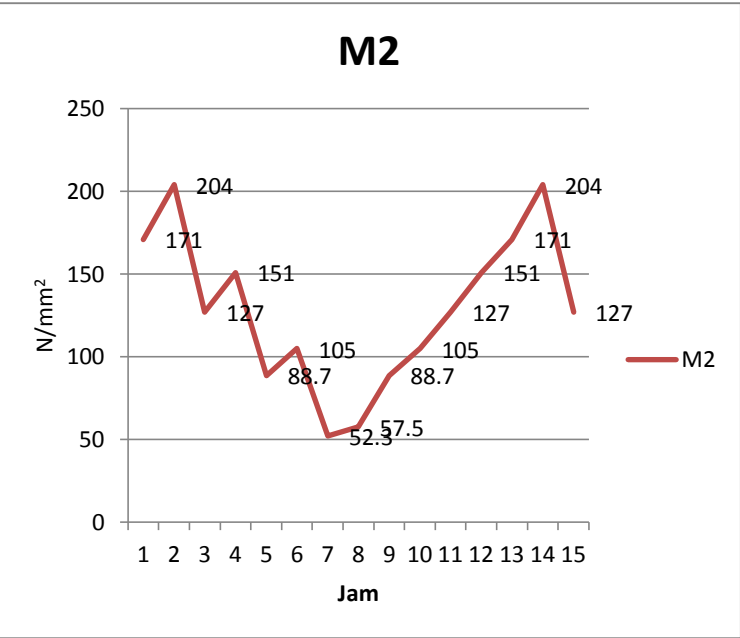
$$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R \quad [\text{N/mm}^2]$$

Kriteria : $n_i/N < 1$

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		σ _m	f _w	m _o	Δσ _R (N/mm ²)	Q	m	log (N)	N	n _i	n _i /N
126.8	1	214	87.2	63.40	1.000	3	63.000	-0.537	3.000	5.390	245400	6205	0.025285
22	1	113	135.0	11.00	1.248	3	78.621	0.320	5.000	8.601	398955491	6205	0.000016
34	1	173	139.0	17.00	1.220	3	76.832	0.121	5.000	7.606	40333982	6205	0.000154
4	1	139	135.0	2.00	1.291	3	81.304	1.075	5.000	12.376	2374673342727	6205	0.000000
	4												0.025455

usia dalam tahun **785.710**

LAMPIRAN K-3



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$

$= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 71.000$ N/mm²

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m =$ 1 for welded joint

$f_w =$ 1 for normal case

$f_i =$ 1 in general

$f_t =$ 1 for $t < 25$ mm

$c =$ 0.3 stress range B

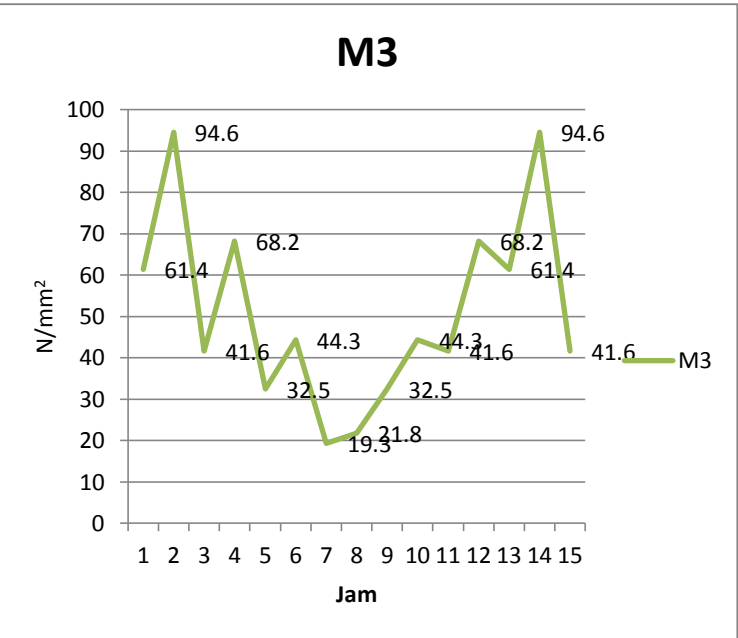
$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Kriteria : $n_i/N < 1$

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
151.7	1	204.0	52.3	75.85	1.000	3	71.000	-0.563	3.000	5.312	205130	6205	0.030249
16.3	1	88.7	105.0	8.15	1.268	3	90.011	0.509	5.000	9.546	3514779375	6205	0.000002
24	1	127.0	151.0	12.00	1.253	3	88.930	0.336	5.000	8.680	478123314	6205	0.000013
	3												0.030264

usia dalam tahun **660.853**

LAMPIRAN K-4



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$

$= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 71.000$ N/mm²

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m =$ 1 for welded joint

$f_w =$ 1 for normal case

$f_i =$ 1 in general

$f_t =$ 1 for $t < 25$ mm

$c =$ 0.3 stress range B

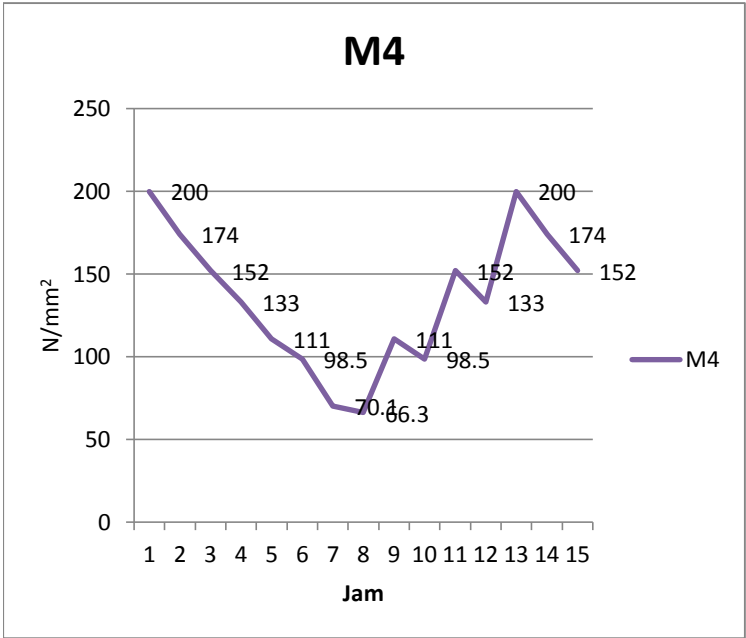
$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Kriteria : $n_i / N < 1$

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
75.3	1	94.6	19.3	37.65	1.000	3	71.000	-0.258	3.000	6.225	1677259	6205	0.003699
26.6	1	41.6	68.2	13.30	1.194	3	84.776	0.270	5.000	8.352	225060183	6205	0.000028
11.8	1	32.5	44.3	5.90	1.253	3	88.962	0.644	5.000	10.222	16671180304	6205	0.000000
6.8	1	68.2	61.4	3.40	1.273	3	90.376	0.891	5.000	11.453	283846069717	6205	0.000000
2.7	1	44.3	41.6	1.35	1.289	3	91.536	1.297	5.000	13.486	30654686574997	6205	0.000000
	5												0.003727

usia dalam tahun **5365.594**

LAMPIRAN K-5



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$
 $= 3.000$ for $Q > 0$
 $= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 71.000$ N/mm²

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m =$ 1 for welded join

$f_w =$ 1 for normal case

$f_i =$ 1 in general

$f_t =$ 1 for $t < 25$ mm

$c =$ 0.3 stress range B

$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Kriteria : $n_i/N < 1$

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
133.7	1	200.0	66.3	66.85	1.000	3	71.000	-0.508	3.000	5.477	299634	6205	0.020709
19	1	152.0	133.0	9.50	1.257	3	89.273	0.439	5.000	9.195	1567416605	6205	0.000004
12.5	1	111.0	98.5	6.25	1.272	3	90.309	0.626	5.000	10.129	13472416977	6205	0.000000
	3												0.020713

usia dalam tahun **965.576**

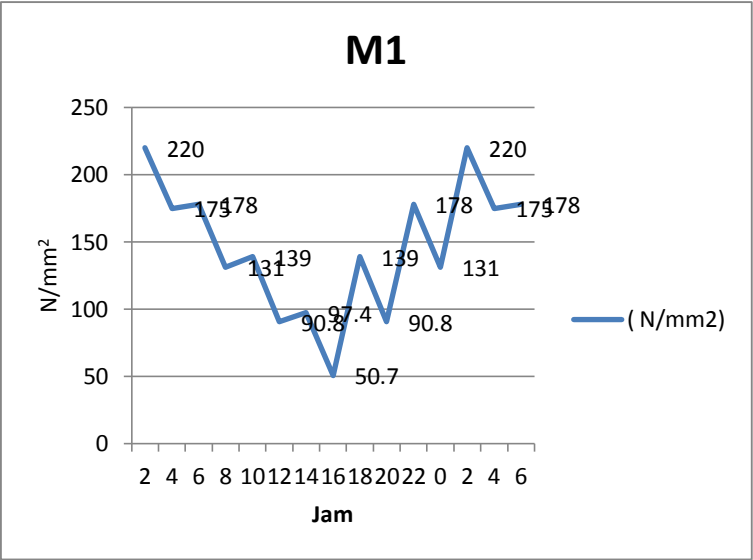
LAMPIRAN L-1

Simulasi untuk kondisi (S3) pada kondisi 97.5 %

Tipe Pasang Surut	Pasang surut harian tunggal		
Desain Umur	=	20 tahun	
	=	7300 hari	
Koefisien masa operasi	=	0.85 ; untuk posisi pintu dok duduk selama masa pengoperasian dok	
	=	0.15 ; untuk posisi pintu dok mengapung selama masa kapal keluar masuk dan reparasi pintu dok	
Sehingga total kejadian tiap jenis siklus = 7300 x 0.850 = 6205 kali			

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam)		(m)	(m)	(N/mm	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T1H3	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T2H3	6	8	4.7	2.8	131	165	72.1	130
T3H1	8	10	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T3H3	10	12	4.2	2.3	90.8	125	48	88.3
T4H1	12	14	3.6	3.6	97.4	54.2	19.9	72.2
T4H3	14	16	3.6	1.7	50.7	85.5	24.8	49.2
T3H1	16	18	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T3H3	18	20	4.2	2.3	90.8	125	48	88.3
T2H1	20	22	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T2H3	22	0	4.7	2.8	131	165	72.1	130
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T1H3	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156

LAMPIRAN L-2



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$

$= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 63.000$ N/mm²

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m = 1$ for welded joint

$f_w = 1$ for normal case

$f_i = 1$ in general

$f_t = 1$ for $t < 25$ mm

$c = 0.3$ stress range B

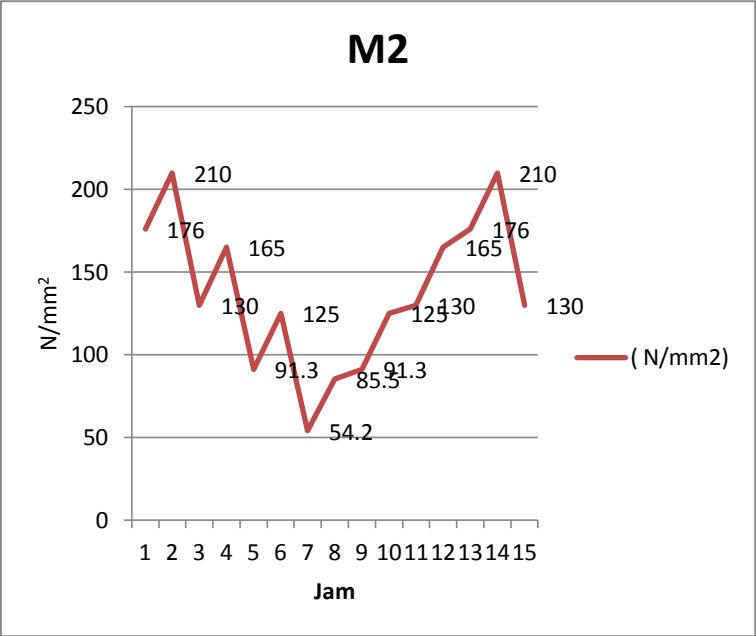
$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Kriteria : $n_i / N < 1$

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$ (N/mm ²)	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
169.3	1	220	50.7	84.65	1.000	3	63.000	-0.662	3.000	5.013	103101	6205	0.060184
48.2	1	90.8	139.0	24.10	1.215	3	76.519	-0.032	3.000	6.903	8005327	6205	0.000775
47	1	178	131.0	23.50	1.217	3	76.653	-0.020	3.000	6.939	8679718	6205	0.000715
8	1	131	139.0	4.00	1.286	3	81.007	0.773	5.000	10.863	72863565404	6205	0.000000
6.6	1	90.8	97.4	3.30	1.288	3	81.163	0.857	5.000	11.284	192497976113	6205	0.000000
3	1	175	178.0	1.50	1.295	3	81.565	1.201	5.000	13.007	10168698397660	6205	0.000000
	6												0.061674

usia dalam tahun **324.285**

LAMPIRAN L-3



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$

$= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 71.000$ N/mm²

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_W \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m = 1$ for welded join

$f_W = 1$ for normal case

$f_i = 1$ in general

$f_t = 1$ for $t < 25$ mm

$c = 0.3$ stress range B

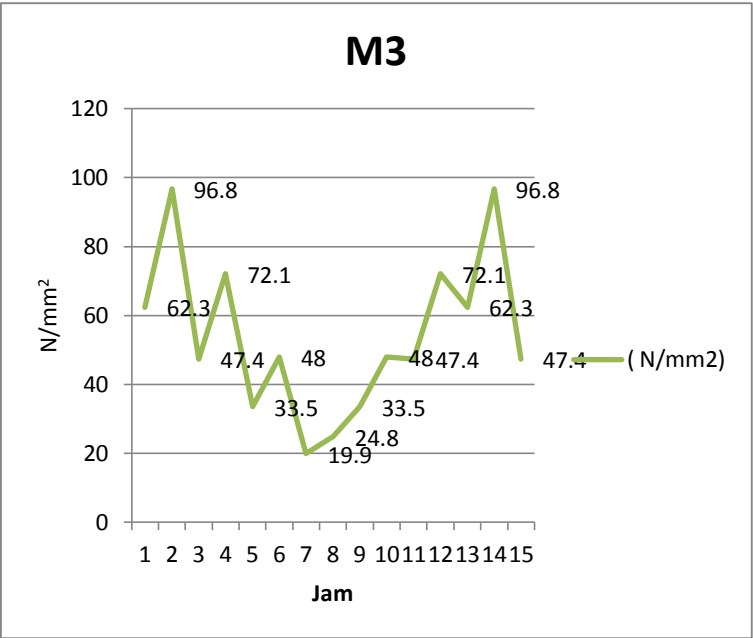
$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Kriteria : $n_i / N < 1$

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_W	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
155.8	1	210.0	54.2	77.90	1.000	3	71.000	-0.574	3.000	5.277	189358	6205	0.032769
33.7	1	91.3	125.0	16.85	1.235	3	87.693	0.182	5.000	7.912	81661786	6205	0.000076
35	1	130.0	165.0	17.50	1.233	3	87.515	0.165	5.000	7.825	66899480	6205	0.000093
	3												0.032937

usia dalam tahun **607.212**

LAMPIRAN L-4



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$
 $= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 71.000$ N/mm²

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_W \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m = 1$ for welded joint

$f_W = 1$ for normal case

$f_i = 1$ in general

$f_t = 1$ for $t < 25$ mm

$c = 0.3$ stress range B

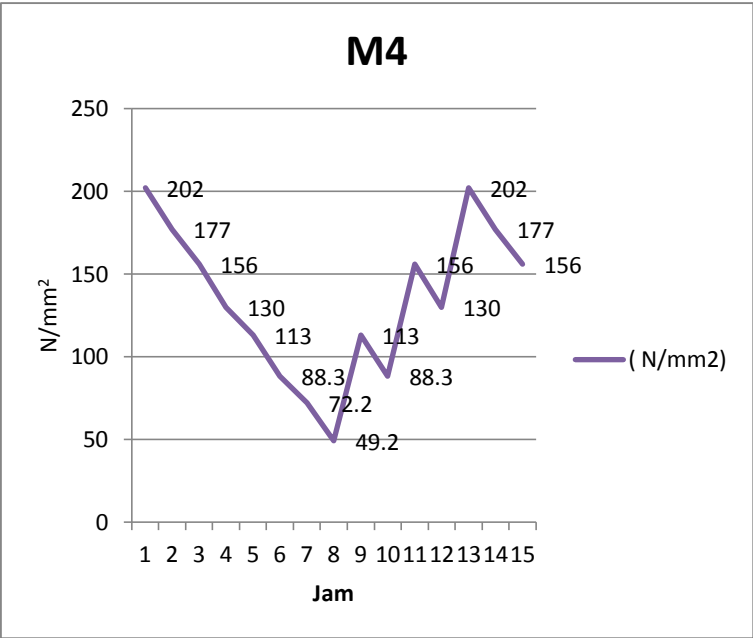
$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Kriteria : $n_i / N < 1$

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_W	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
76.9	1	96.8	19.9	38.45	1.000	3	71.000	-0.268	3.000	6.197	1574730	6205	0.003940
24.7	1	47.4	72.1	12.35	1.204	3	85.459	0.306	5.000	8.531	339345432	6205	0.000018
14.5	1	33.5	48.0	7.25	1.243	3	88.284	0.552	5.000	9.758	5726822601	6205	0.000001
9.8	1	72.1	62.3	4.90	1.262	3	89.586	0.728	5.000	10.640	43692794587	6205	0.000000
0.6	1	48.0	47.4	0.30	1.298	3	92.134	1.953	5.000	16.767	#####	6205	0.000000
	5												0.003960

usia dalam tahun **5050.672**

LAMPIRAN L-5



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log (\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$

$= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 71.000$ N/mm²

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_W \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m = 1$ for welded join

$f_W = 1$ for normal case

$f_i = 1$ in general

$f_t = 1$ for $t < 25$ mm

$c = 0.3$ stress range B

$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Kriteria : $n_i / N < 1$

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_W	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
152.8	1	202.0	49.2	76.40	1.000	3	71.000	-0.566	3.000	5.303	200731	6205	0.030912
26	1	156.0	130.0	13.00	1.249	3	88.676	0.300	5.000	8.500	315867739	6205	0.000020
24.7	1	113.0	88.3	12.35	1.252	3	88.857	0.323	5.000	8.615	412401590	6205	0.000015
	3												0.030947

usia dalam tahun

646.273

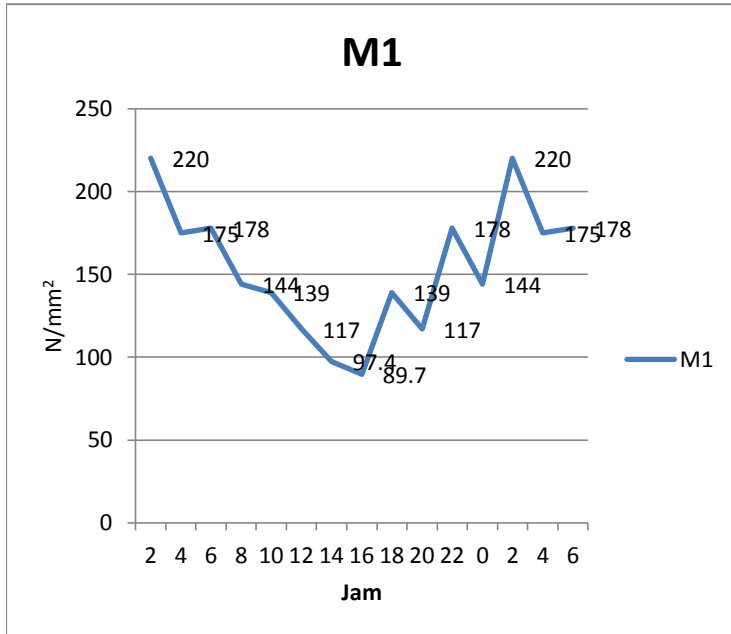
LAMPIRAN M-1

Simulasi untuk kondisi (S4) pada kondisi 97.5%

Tipe Pasang Surut	Pasang surut harian tunggal		
Desain Umur	=	20	tahun
	=	7300	hari
Koefisien masa operasi	=	0.85	; untuk posisi pintu dok duduk selama masa pengoperasian dok
	=	0.15	; untuk posisi pintu dok mengapung selama masa kapal keluar masuk dan reparasi pintu dok
Sehingga total kejadian tiap jenis siklus = $7300 \times 0.850 = 6205$ kali			

Simulasi	Durasi Waktu		T	H	M1	M2	M3	M4
	(Jam)		(m)	(m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T1H2	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T2H2	6	8	4.7	2.8	144	156	70.2	136
T3H1	8	10	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T3H2	10	12	4.2	2.3	117	108	45.6	101
T4H1	12	14	3.6	3.6	97.4	54.2	19.9	72.2
T4H2	14	16	3.6	1.7	89.7	59.6	22.5	68.1
T3H1	16	18	4.2	4.2	139	91.3	33.5	113
T3H2	18	20	4.2	2.3	117	108	45.6	101
T2H1	20	22	4.7	4.7	178	130	47.4	156
T2H2	22	0	4.7	2.8	144	156	70.2	136
T1H1	0	2	5.2	5.2	220	176	62.3	202
T1H2	2	4	5.2	3.3	175	210	96.8	177
T2H1	4	6	4.7	4.7	178	130	47.4	156

LAMPIRAN M-2



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$$\log(N) = 7 + m \cdot Q$$

$$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$$

$$m = 2 \cdot m_o - 1 \quad \text{for } Q > 0$$

$$= 3.000 \quad \text{for } Q \leq 0$$

$$m_o = 3.000 \quad ; \text{for welded joint}$$

$$\Delta\sigma_R = 63.000 \quad \text{N/mm}^2$$

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$$

$$f_m = 1 \quad \text{for welded joint}$$

$$f_w = 1 \quad \text{for normal case}$$

$$f_i = 1 \quad \text{in general}$$

$$f_t = 1 \quad \text{for } t < 25 \text{ mm}$$

$$c = 0.3 \quad \text{stress range B}$$

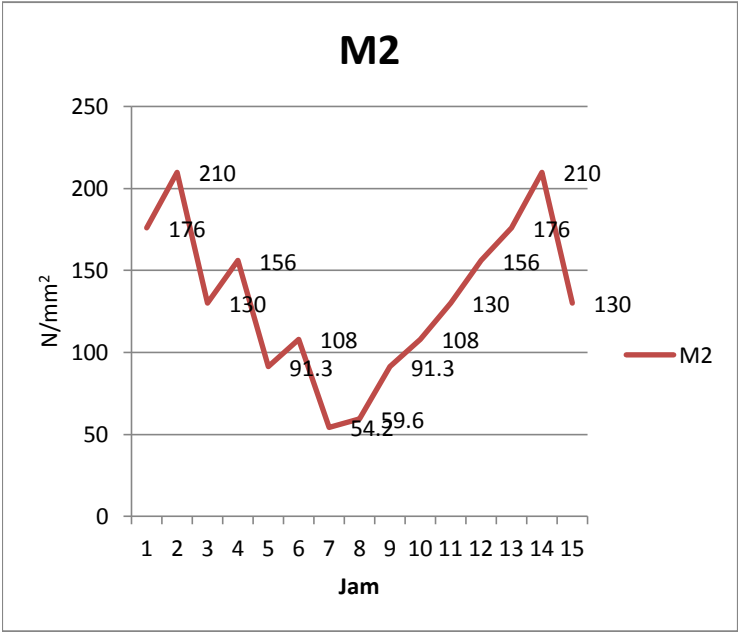
$$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\text{Kriteria : } n_i / N < 1$$

Range (N/mm ²)	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R(\text{N/mm}^2)$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
130.3	1	220	89.7	65.15	1.000	3	63.000	-0.549	3.000	5.354	226151	6205	0.027437
22	1	117	139.0	11.00	1.249	3	78.709	0.321	5.000	8.603	401195340	6205	0.000015
34	1	178	144.0	17.00	1.222	3	76.968	0.122	5.000	7.610	40692559	6205	0.000152
3	1	175	178.0	1.50	1.293	3	81.465	1.201	5.000	13.005	10106366569652	6205	0.000000
	4												0.027605

usia dalam tahun **724.496**

LAMPIRAN M-3



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$

$= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 71.000$ N/mm²

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m = 1$ for welded joint

$f_w = 1$ for normal case

$f_i = 1$ in general

$f_t = 1$ for $t < 25$ mm

$c = 0.3$ stress range B

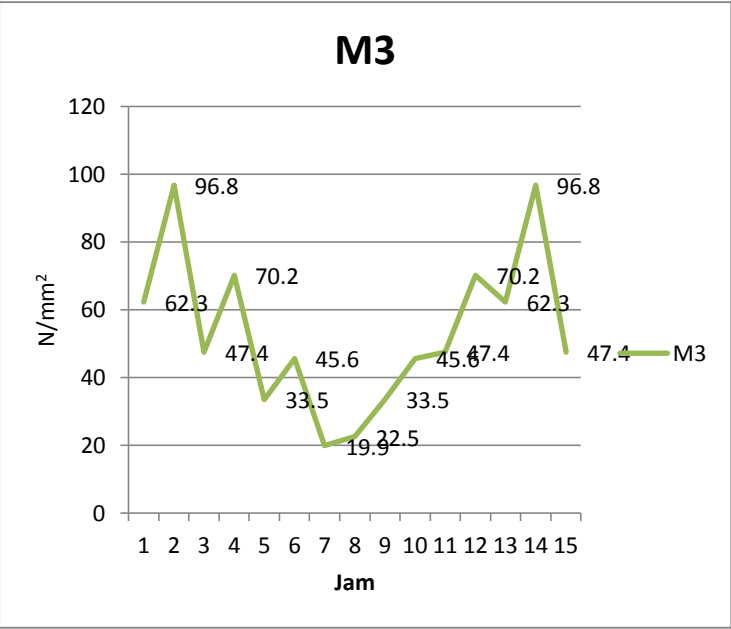
$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Kriteria : $n_i / N < 1$

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
155.8	1	210.0	54.2	77.90	1.000	3	71.000	-0.574	3.000	5.277	189358	6205	0.032769
16.7	1	91.3	108.0	8.35	1.268	3	90.017	0.499	5.000	9.493	3114493579	6205	0.000002
26	1	130.0	156.0	13.00	1.250	3	88.745	0.300	5.000	8.501	317112649	6205	0.000020
	3												0.032790

usia dalam tahun **609.937**

LAMPIRAN M-4



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$

$Q = \log (\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$

$m = 2 \cdot m_o - 1$ for $Q > 0$

$= 3.000$ for $Q \leq 0$

$m_o = 3.000$;for welded joint

$\Delta\sigma_R = 71.000$ N/mm²

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$

$f_m =$ 1 for welded join

$f_w =$ 1 for normal case

$f_i =$ 1 in general

$f_t =$ 1 for t < 25 mm

$c =$ 0.3 stress range B

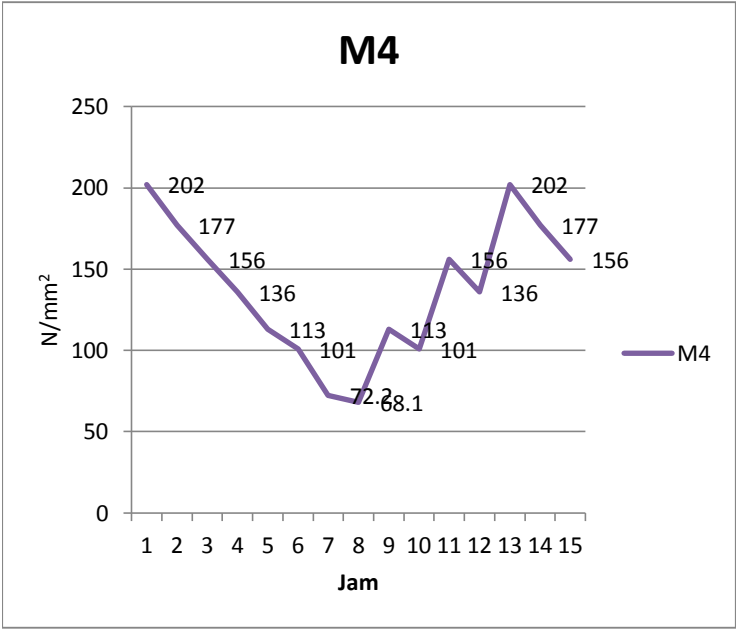
$\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ [N/mm²]

Kriteria : $n_i/N < 1$

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
76.9	1	96.8	19.9	38.45	1.000	3	71.000	-0.268	3.000	6.197	1574730	6205	0.003940
22.8	1	47.4	70.2	11.40	1.211	3	85.985	0.344	5.000	8.718	522136224	6205	0.000012
12.1	1	33.5	45.6	6.05	1.253	3	88.949	0.633	5.000	10.167	14693200432	6205	0.000000
7.9	1	70.2	62.3	3.95	1.269	3	90.112	0.824	5.000	11.121	132167196052	6205	0.000000
1.8	1	45.6	47.4	0.90	1.293	3	91.801	1.475	5.000	14.373	#####	6205	0.000000
	5												0.003953

usia dalam tahun **5059.817**

LAMPIRAN M-5



Perkiraan berdasarkan Cumulative Damage Ratio

Perhitungan S-N Diagram

$\log(N) = 7 + m \cdot Q$
 $Q = \log(\Delta\sigma_R / \Delta\sigma) - 0.69897 / m_o$
 $m = 2 \cdot m_o - 1$
 $m_o = 3.000$
 $\Delta\sigma_R = 71.000$
 N/mm^2

Faktor koreksi untu $\Delta\sigma_R$

$\Delta\sigma_{RC} = f_m \cdot f_R \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_t \cdot \Delta\sigma_R$
 $f_m = 1$ for welded join
 $f_w = 1$ for normal case
 $f_i = 1$ in general
 $f_t = 1$ for $t < 25$ mm
 $c = 0.3$ stress range B
 $\Delta\sigma_{RC} = f_R \cdot \Delta\sigma_R$ $[N/mm^2]$

Kriteria : $n_i / N < 1$

Range	Cycle Counts	point-point		σ_m	f_w	m_o	$\Delta\sigma_R$	Q	m	log (N)	N	n_i	n_i/N
133.9	1	202.0	68.1	66.95	1.000	3	71.000	-0.508	3.000	5.475	298293	6205	0.020802
20	1	156.0	136.0	10.00	1.255	3	89.119	0.416	5.000	9.080	1202374842	6205	0.000005
12	1	113.0	101.0	6.00	1.273	3	90.391	0.644	5.000	10.220	16598637257	6205	0.000000
	3												0.020807

usia dalam tahun **961.205**

LAMPIRAN N-1

Rekap umur kelelahan

Kondisi Normal (S1) dan (S2)

Umur Kelelahan untuk S1 tebal pelat 100 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.021111696	947.342
M2	0.014491352	1380.134
M3	0.000646551	30933.351
M4	0.01899259	1053.042

Umur kelelahan untuk S2 tebal pelat 100 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.006788441	2946.185
M2	0.027243921	734.109
M3	0.003343112	5982.451
M4	0.0108244	1847.677

Umur Kelelahan untuk S1 tebal pelat 97.5 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.022855017	875.081
M2	0.015656641	1277.413
M3	0.000660472	30281.382
M4	0.018948761	1055.478

Umur kelelahan untuk S2 tebal pelat 97.5 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.007697634	2598.201
M2	0.029478152	678.469
M3	0.003554047	5627.387
M4	0.011190265	1787.268

Kondisi Percobaan (S3) dan (S4)

Umur kelelahan untuk S3 tebal pelat 100 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.056791	352.170
M2	0.03039	658.121
M3	0.00374	5347.700
M4	0.030525	655.205

Umur kelelahan untuk S4 tebal pelat 100 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.025455	785.710
M2	0.030264	660.853
M3	0.003727	5365.594
M4	0.020713	965.576

Umur kelelahan untuk S3 tebal pelat 97.5 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.061674	324.285
M2	0.032937	607.212
M3	0.00396	5050.672
M4	0.030947	646.273

Umur kelelahan untuk S4 tebal pelat 97.5 %

Lokasi	n_i/N	fatigue life (years)
M1	0.027605	724.496
M2	0.03279	609.937
M3	0.003953	5059.817
M4	0.020807	961.205

LAMPIRAN P-1

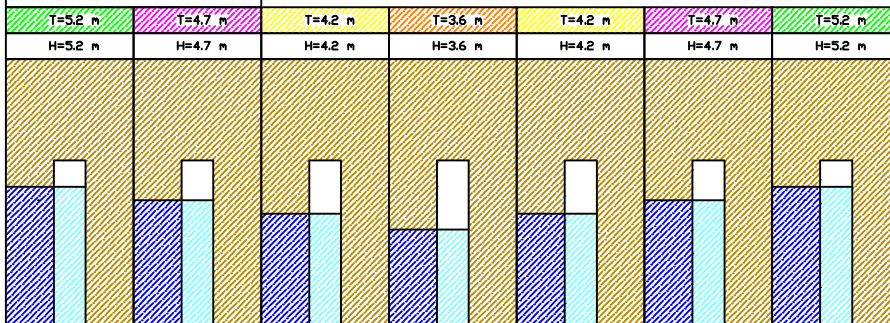
Pengecekan Laju Korosi Terhadap Kondisi Kontruksi Pintu Dok

Lokasi : Flange pada Frame 20			
$t = 0.01 \text{ m}$ $= 10 \text{ mm}$ Kegagalan Terjadi Pada Kondisi Pelat = 95% $t_{95} \% = 9.5 \text{ mm}$	Berdasarkan <i>BKI Regulation For The Corrosion Protection and Coating System" 2004 Section</i> Lokasi = permukaan basah laju korosi maksimum/tahun = 0.21 mm		
	Tahun ke-	tebal (mm)	status
	1	9.79	accept
	2	9.58	accept
	3	9.37	repair
	4	9.16	repair
	5	8.95	repair
Repair harus dilakukan sebelum terjadi kegagalan atau pada tahun ke-2			

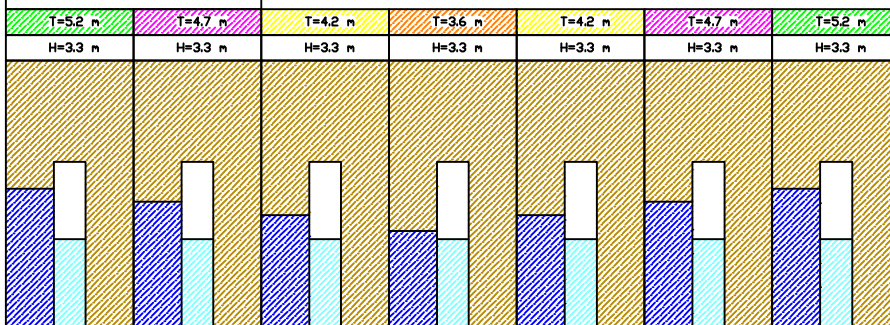
Lokasi : Flange pada Frame 17			
$t = 0.01 \text{ m}$ $= 10 \text{ mm}$ Kegagalan Terjadi Pada Kondisi Pelat = 92.50% $t_{92.5} \% = 9.25 \text{ mm}$	Berdasarkan <i>BKI Regulation For The Corrosion Protection and Coating System" 2004 Section</i> Lokasi = permukaan basah laju korosi maksimum/tahun = 0.21 mm		
	Tahun ke-	tebal (mm)	status
	1	9.79	accept
	2	9.58	accept
	3	9.37	accept
	4	9.16	repair
	5	8.95	repair
Repair harus dilakukan sebelum terjadi kegagalan atau pada tahun ke-3			

Lokasi : Flange pada Frame 14			
$t = 0.01 \text{ m}$ $= 10 \text{ mm}$ Kegagalan Terjadi Pada Kondisi Pelat = 95.00% $t_{92.5} \% = 9.5 \text{ mm}$ Lokasi = permukaan basah	Berdasarkan <i>BKI Regulation For The Corrosion Protection and Coating System" 2004 Section</i> laju korosi maksimum/tahun = 0.21 mm		
	Tahun ke-	tebal (mm)	status
	1	9.79	accept
	2	9.58	accept
	3	9.37	repair
	4	9.16	repair
	5	8.95	repair
Repair harus dilakukan sebelum terjadi kegagalan atau pada tahun ke-2			

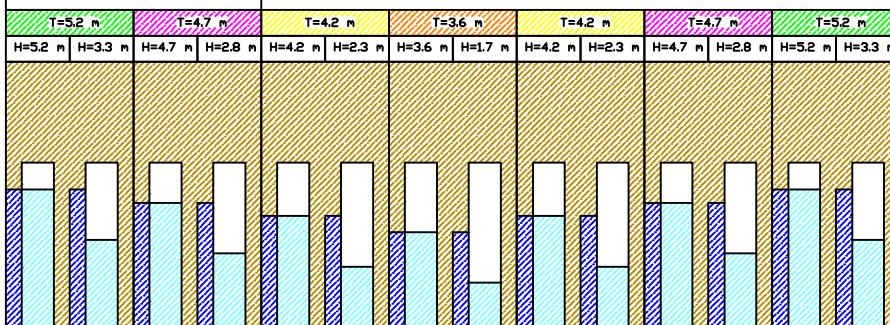
SIMULASI 1



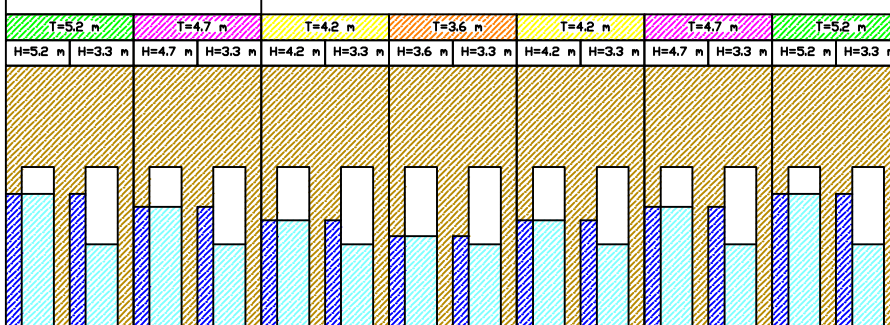
SIMULASI 2



SIMULASI 3



SIMULASI 4



AIR LAUT

BALLAST

DARAT

T = 5.2 M

T = 4.7 M

T = 4.2 M

T = 3.6 M

Lampiran data pasang surut untuk daerah Pangkal Pinang Berdasarkan Buku “**Daftar Pasang Surut Tide Tables Tahun 2015 Kepulauan Indonesia (Indonesian Archipelago)**” yang dikeluarkan oleh Dinas Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut.

31- PANGKALPINANG

Posisi (Position) Latitude (Lat) : 02° 44' 54.1" S (S)
 Longitude (Long) : 106° 08' 19" E (E)
 Waktu (Time) GMT + 07.00
 Tipe Pasang (Tide Type) Harian Tunggal (Diurnal Tide)

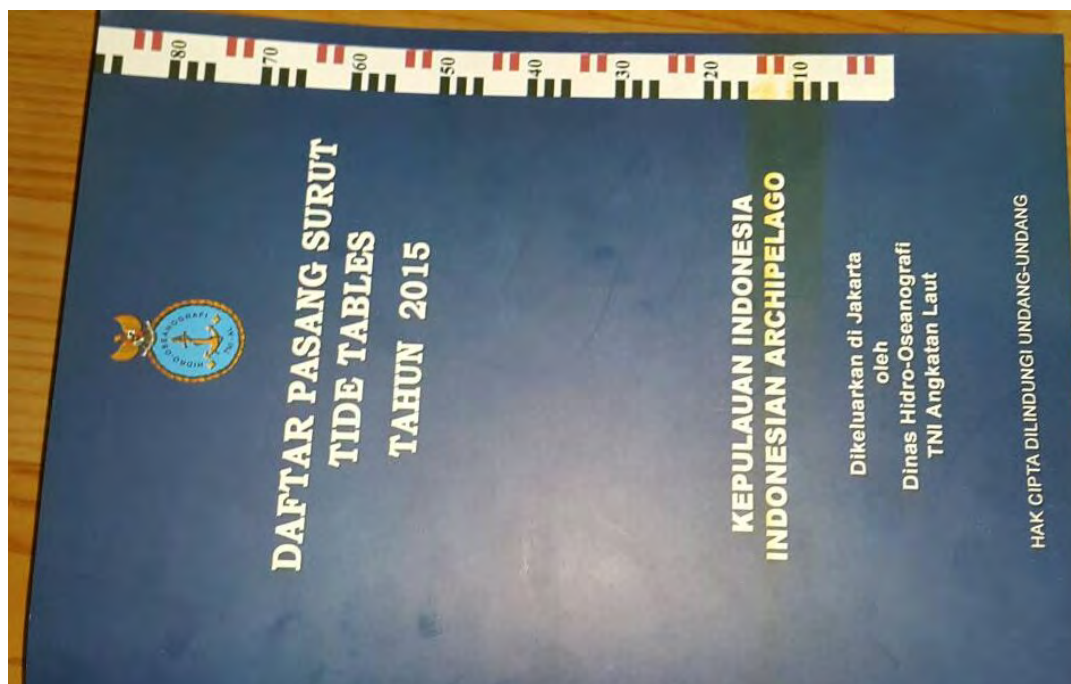
KOREKSI BULANAN (dalam cm)
(Monthly correction in cm)

Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agus	Sept	Okt	Nov	Dek
Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec

HAL-HAL YANG KHUSUS
(Particulars)

Keterangan-keterangan yang dikutip dari Berita Pelaut Indonesia, diumumkan setelah penerbitan daftar pasang surut.
(additional data published in Notice to Mariners).

Tanggal (Date)	Nomor Berita (No.)	Hal-hal yang khusus (Particulars)



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bogor, 24 November 1992 sebagai anak ke-2 dari 4 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah 5 Jakarta, SMPN 19 Jakarta, dan SMAN 8 Jakarta. Setelah lulus pada tahun 2011, penulis melanjutkan studinya di Program Sarjana Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Selama masa kuliahnya, penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. PAL Surabaya (Agustus-September 2014) dan PT. Dok dan Perkapalan Surabaya (Maret- April 2015). Selain itu, penulis juga pernah aktif dalam UKM Futsal Jurusan Teknik Perkapalan (2011-2013) serta menjadi Anggota *Steering Committee* Kaderisasi HIMATEKPAL 2013/2014. Penulis memiliki ketertarikan pada bidang konstruksi sehingga mengambil Rekayasa Perkapalan bidang keahlian Konstruksi dan Kekuatan Kapal sebagai bidang studinya. Oleh karena itu, penulis mengambil penelitian dengan judul “Perkiraan *Fatigue Life* Pada Konstruksi Pintu *Graving Dock* : Studi Kasus Pada Galangan PT. DAK Bangka Belitung” sebagai tugas akhirnya.

Email : muhammadaulia2411@gmail.com